

Vergleichende Analyse von
Computerunterstützten
Messwerterfassungssystemen für
den Physikunterricht

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Pädagogik

vorgelegt von
Henrik Bernshausen
aus Biedenkopf

eingereicht beim Fachbereich 7
der Universität Siegen

Siegen 2008

Gutachter der Dissertation: Prof. Dr. Wolfram Winnenburg
Prof. Dr. Manfred Bodemann
Datum der mündlichen Prüfung: 14. Mai 2008

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
0 Einleitung	2
1 Zielsetzungen und Aufbau	6
1.1 Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme	8
1.1.1 Allgemeine Begriffsklärung	8
1.1.2 Klassifizierung von Computerunterstützten Messwerterfassungssystemen	10
1.2 Analyse und Vergleich	12
1.2.1 Problemstellung	12
1.2.2 Methode	13
1.2.3 Kriteriensuche zur Analyse und Bewertung	14
2 Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme	16
2.1 Modulare Interfacesysteme und LowCost Interfaces	16
2.1.1 CASSY-S/CASSY Lab	17
2.1.2 Cobra3/Measure	29
2.1.3 CoachLab II ⁺ /Coach 6	44
2.1.4 XLSmess	61
2.2 Einzelmessgeräte und (LowCost) Peripherie	69
2.2.1 VideoCom	69
2.2.2 Viana/Webcam (Philips PCVC840K/20)	81
3 Testanwendung Beugung und Interferenz mit dem Laser	88
3.1 Allgemeines	88
3.1.1 Erläuterung fachgebundener Begriffe	89
3.1.2 Allgemeines zum Versuchsaufbau, Messprinzipien und Auswertung	94
3.2 Visuelle Messung	99
3.2.1 Messprinzip	99
3.2.2 Material	99
3.2.3 Versuchsaufbau	99
3.2.4 Versuchsdurchführung	100
3.2.5 Auswertung	100
3.2.6 Stärken und Schwächen	101
3.3 Modulare Interfacesysteme und LowCost Interfaces	103
3.3.1 Allgemeines zu Messprinzip und Versuchsaufbau	103
3.3.2 Cassy-S/Cassy Lab	107
3.3.3 Cobra3/Measure	114
3.3.4 Coachlab II ⁺ /Coach 6	122

INHALTSVERZEICHNIS

3.3.5	XLSmess	128
3.4	Einzelmessgeräte und (LowCost) Peripherie	134
3.4.1	Allgemeines zu Messprinzip und Versuchsaufbau	134
3.4.2	VideoCom	136
3.4.3	Excel/Webcam (Philips PCVC840K/20)	140
4	Vergleichende Analyse	147
4.1	Modulare Interfacesysteme und LowCost Interfaces	147
4.1.1	Funktionalität	147
4.1.2	Benutzerfreundlichkeit	155
4.1.3	Unterrichtspraktische Aspekte	160
4.2	Einzelmessgeräte und (LowCost) Peripherie	164
4.2.1	Funktionalität	164
4.2.2	Benutzerfreundlichkeit	167
4.2.3	Unterrichtspraktische Aspekte	170
5	Physiklehrerbildung an der Universität Siegen	172
5.1	Ziele und Probleme der Physiklehrerbildung	172
5.2	Computerunterstütztes Experimentieren	174
5.3	Der Analysebogen	177
5.3.1	Aufbau	177
5.3.2	Hinweise zur Benutzung des Fragebogens	177
5.3.3	Kriterien und Erläuterungen	179
A	Analysebogen zur Analyse und Bewertung	187
	Abbildungsverzeichnis	196
	Tabellenverzeichnis	202
	Literaturverzeichnis	203

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich meinen Dank aussprechen an all diejenigen, die mich während der Bearbeitung der Dissertation begleitet haben und mir Mut und Kraft gaben, um den eingeschlagenen Weg zu gehen.

An erster Stelle danke ich meiner Verlobten Miriam Rentzsch für ihre Geduld und ihre Unterstützung trotz vielfältiger eigener Belastungen.

Herrn Prof. Dr. Wolfram Winnenburg danke ich für die Betreuung durch alle Entstehungsphasen der Arbeit hinweg, Herrn Prof. Dr. Manfred Bodemann für die zahlreichen Ratschläge und Anregungen.

Dank gilt auch Herrn Christoph Springob für wichtige Hilfestellungen besonders in den Experimentierphasen und Frau Sabine Schirm-Springob für ihre Hilfe beim Korrekturlesen der Arbeit.

Danken möchte ich auch meiner Familie, insbesondere meine Eltern Gerhard und Mechthild Bernshausen und meiner „Schwiegermutter“ Anita Rentzsch für ihre Unterstützung in den letzten Jahren.

Diese Arbeit wurde in \LaTeX unter der Verwendung des LaTeX Editors (LEd) geschrieben. Die Zeichnungen und Skizzen entstanden, wenn nicht anders angegeben, mit CorelDRAW 11.

Kapitel 0

Einleitung

In der theoriegeleiteten Erfahrungswissenschaft Physik ist das Experiment zugleich Prüfstein und Quelle von Ideen und Hypothesen (Heber, 2001). Das Experiment nimmt daher im Physikunterricht seit langem schon eine zentrale Stellung ein. Es ist in allen didaktischen Phasen einsetzbar (Wilke, 1993a), dient zur Motivation und Veranschaulichung oder hilft bei Anwendungen, Übungen und Systematisierungen. Das Erfassen von Messgrößen aus Experimenten gehört zu den Grundlagen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns. Das Messen unterschiedlichster Größen im Unterricht ermöglicht es Schülern, eigene Hypothesen zu erstellen und diese systematisch zu überprüfen, handlungsorientiertes Arbeiten und entdeckendes Lernen zu erfahren. Experimente können die Schüler zu genauem Beobachten anleiten und ihr kritisches Nachdenken schulen (Saxler, 1979; Bodemann und Wehler, 1982), sie zur physischen und geistigen Aktivität anregen (Klinger, 1991) oder vielfältige andere didaktische Funktionen ausüben. So weisen Walz und Weingarten dem Experiment im Physikunterricht vier kennzeichnende Funktionen zu (zitiert in: Bernshausen u. a., 2002):

- Erkenntnisgewinnung im Sinne nachvollzogener Forschung;
- Motivationshilfe;
- Erwerb von Fertigkeiten;
- Lustgewinn durch Eigentätigkeit.

Computer und deren Anwendungen sind in den letzten Jahrzehnten Standardwerkzeuge nicht nur in Wissenschaft und Technik, sondern auch im alltäglichen

Leben geworden. Auch im Schulalltag hat die elektronische Datenverarbeitung (mit einiger Verspätung) immer mehr Einzug gefunden, begünstigt durch immer leistungsfähigere Geräte bei vergleichsweise geringer werdenden Kosten. Neben der nahezu flächendeckenden Ausstattung von Schulen allgemein mit Computern werden auch speziell die Physikräume häufiger auf den Einsatz der neuen Medien vorbereitet. Einer Erhebung über die IT-Ausstattung der allgemeinbildenden und berufsbildenden Schulen in Deutschland (Krützer und Probst, 2006) zufolge sind 99% aller Schulen mit stationären und mobilen Computern ausgestattet, in 87% der Schulen werden sie für den naturwissenschaftlichen Unterricht in den Sekundarstufen I und II eingesetzt. 32% der in diesen Schulstufen genutzten Computer befinden sich in Klassen- oder Fachräumen.

Die Nutzungsmöglichkeiten von Computern im Unterricht sind vielfältig. In einem experimentenzentrierten Unterricht kommt Computerunterstützten Messwerterfassungssystemen als technisches Hilfsmittel zur Durchführung von Versuchen – d.h zur Aufnahme und Weiterverarbeitung der Messwerte – eine große Bedeutung zu. Die Vorteile, die man sich allgemein von deren Nutzung verspricht, basieren zum einen auf der höheren Rechen- bzw. Datentransfergeschwindigkeit eines PCs im Vergleich zum Menschen und zum anderen auf der Automatisierbarkeit sowohl von Messvorgängen selbst als auch der Manipulation digital abgespeicherter Daten. In den „Empfehlungen zum Computer-Einsatz im mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht an allgemein bildenden Schulen“ formulierten die Tagungsteilnehmer im Jahr 2002 die Erwartungen, die an moderne Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme gestellt werden (Pohlmann, 2002):

„1. Die Aufzeichnung kurzzeitiger Vorgänge (z. B. Erfassung von Kraftstößen oder Einschaltströmen) bzw. von Prozessen langer Dauer (z. B. Aufnahme von Temperaturverläufen oder radioaktiven Zerfallskurven) wird einfacher und in einer Qualität und Quantität möglich, die bisher im Physikunterricht nicht oder sehr schwer realisierbar waren (z. B. Aufzeichnung von Bewegungen mit Ultraschallsensor).

2. Der Aufbau lässt sich bei einer Vielzahl von Versuchen vereinfachen.

chen und überschaubarer gestalten (z. B. Demonstrationsexperimente bei elektrischen Versuchen entfallen, Registrierung von Bewegungen ausschließlich mit einer Videokamera).

3. Sie vereinfacht die Weiterverarbeitung der erfassten Messwerte, da sie leicht in andere Programme (Tabellenkalkulationen, Modellbildungssysteme) übertragen werden können.
4. Das Messverarbeitungssystem ersetzt eine Vielzahl von teuren Einzelmessgeräten (Demonstrationsmessgerät, Speicheroszilloskop, x-y-Schreiber, Digitalzähler).

Die computergestützte Verarbeitung von Messwerten bietet folgende Vorteile:

1. Sie ermöglicht die Bearbeitung von großen Datenmengen im Unterricht.
2. Verschiedene Arten der Repräsentation der Daten sind einfach zu realisieren. So lassen sich Schülerideen zur Art der Auswertung leicht überprüfen.
3. Es sind völlig neue Auswertungsmethoden im Unterricht möglich (z. B. Fourieranalyse von Signalen).“

In diesem Bereich hat die Entwicklung der letzten Zeit zu einer nahezu unüberschaubaren Zahl von Soft- und Hardwarepaketen geführt: Nicht nur bietet heute nahezu jede Lehrmittelfirma Produkte zu diesem Zweck an, auch unabhängig davon wurden an Universitäten und Schulen eine breite Palette von Anwendungen realisiert, wobei auch die große Anzahl von Messumgebungen nicht vergessen werden darf, die nicht eigens zu Lehr- und Lernzwecken entwickelt wurden (Messwerterfassungssysteme für Industrie, Haushalt etc.). Dabei variieren die existierenden Systeme von einfachen Anwendungen der Standard-Computerperipherie

bis hin zu komplexen, baugruppenartig erweiterbaren Schnittstellensystemen. Sowohl Funktionsprinzip als auch Funktionsumfang und Bedienung unterscheiden sich dabei zum Teil beträchtlich.

Für den Lehrenden bedeutet dies, dass die Auswahl eines geeigneten Messwerterfassungssystems nicht nur eine rein fachdidaktische Entscheidung ist. Zusätzlich zu Überlegungen, welches Verfahren das Erreichen der gesteckten Ziele bei den herrschenden unterrichtlichen Voraussetzungen am besten unterstützt, dürfen Funktionsumfang, Benutzerfreundlichkeit, die Nutzbarkeit im Unterricht und auch wirtschaftliche Aspekte nicht außer Acht gelassen werden. Letztendlich heißt das für den Lehrer, dass er die verschiedenen Systeme genau kennen lernen müsste, bevor er eine Wahl treffen kann. Für den Lehrenden stellt dies sowohl logistisch als auch finanziell ein großes Problem dar: Zum einen kann die Einarbeitung in mehrere Messwerterfassungssysteme aufgrund ihrer Komplexität sehr zeitaufwendig sein, zum anderen ist es vielen Schulen aus Budgetgründen auch kaum möglich, mehrere komplette Systeme nur zu Testzwecken anzuschaffen.

Natürlich können Informationen über Messwerterfassungssysteme auch durch die Lektüre von Artikeln in Zeitungen, Büchern und vor allem auch durch Internetrecherchen gewonnen werden. Leider gibt es nur sehr wenige vergleichende Arbeiten jüngsten Datums zu diesem Thema (wie z.B. Kremser u. a., 1997), viele Artikel konzentrieren sich auf die Vorzüge (oder Nachteile) bzw. Verwendungsmöglichkeiten eines Systems (siehe z.B. Vogt u. a. (2004), Meyer-Bothling (2004) oder Wilhelm u. a. (2002)).

Eine wichtige Aufgabe der fachdidaktischen Forschung ist daher die Suche nach Merkmalen, die es erlauben, Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme zumindest vergleichend auf ihre Nutzbarkeit als technisches Hilfsmittel zur Messdatenerfassung im Physikunterricht zu untersuchen.

Kapitel 1

Zielsetzungen und Aufbau

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Katalog möglichst objektiv erfassbarer Kriterien zu finden, anhand deren die „Nutzbarkeit“ von Computerunterstützten Messwerterfassungssystemen im Physikunterricht komparativ analysiert werden kann. Basierend darauf wurde ein Analysebogen entwickelt, der es Lehrenden und Lernenden ermöglicht, Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme zielgerichtet zu erproben, analysieren und vergleichen. Zu diesem Zweck wurde eine Reihe solcher Systeme in den Bestand des Medienlabors (siehe auch Bodemann und Winnenburg, 2006) des Fachbereichs Physik – Didaktik der Physik – der Universität Siegen integriert, sodass die Untersuchung auch im praktischen Einsatz in Lehrveranstaltungen erfolgen konnte.

Die „Artenvielfalt“ von Messsystemen macht es zunächst nötig, dem Begriff „Computerunterstütztes Messwerterfassungssystem“ auch formal eine Grundlage zu geben. Ebenso erfordert die Komplexität dieser so definierten Gruppe eine Klassifizierung, dazu wurde eine Unterteilung in vier Kategorien vorgenommen. Eine praktische Untersuchung verlangt zusätzlich Überlegungen zur eindeutigen Benennung und (in vielen Fällen) zur Zusammenfassung mehrerer Einzelsysteme zu System-Familien oder Kombinationen (Kapitel 1.1).

Die verwendeten Messwerterfassungssysteme werden im Kapitel 2 beschrieben. Während in diesem Abschnitt die Untersuchung der Messmöglichkeiten insgesamt sowie allgemeiner Bedienkonzepte – insbesondere in Hinblick auf die Aufnahme, Darstellung und Auswertung von Messwerten – im Vordergrund steht, beleuchtet das Kapitel 3 konkrete Aspekte der Messwerterfassungssysteme am Beispiel ex-

Kapitel 1 Zielsetzungen und Aufbau

emplarischer Versuche. Ausgewählt wurden dazu Versuche aus dem Themengebiet „Beugung und Interferenz mit dem Laser“. Hier werden neben aus der Fachliteratur bekannten, neu angepassten, Messverfahren auch neuentwickelte Methoden präsentiert (siehe z.B. Kapitel 3.4.3). Die zur Durchführung und Auswertung dieser Versuche auf Schulniveau nötigen physikalischen Hintergründe werden zusammen mit allgemeinen Überlegungen zu Versuchsaufbau, Messprinzipien und Auswertung inklusive der Beschreibung der klassischen (nicht computerunterstützten) Versuchsdurchführung ebenfalls in Kapitel 3 beschrieben.

Eine vergleichende Analyse der Systeme erfolgt in zwei Teilen (modular bzw. monolithische Messwerterfassungssysteme) in Kapitel 4.

Der aus dieser Analyse abgeleitete Kriterienkatalog und der darauf aufbauende Analysebogen werden im abschließenden Kapitel 5 vorgestellt und zusammen mit Überlegungen zum Einsatz dieses Analysebogens in der Lehrerbildung im Fachbereich Physik – Didaktik der Physik – an der Universität Siegen erläutert.

1.1 Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme

1.1.1 Allgemeine Begriffsklärung

Ein erster Schritt, zu brauchbaren Kriterien für die Analyse und den Vergleich solcher Messeinrichtungen zu kommen, ist die formale Definition des Begriffes „Computerunterstütztes Messwerterfassungssystem“ zur Abgrenzung zu „normalen“ Messwerterfassungssystemen. Dabei stellt sich die Frage: Welche Eigenschaften, welche Bestandteile muss ein Messsystem besitzen, um zu einem „Computerunterstütztes Messwerterfassungssystem“ zu werden?

Definitionen zum Themenbereich „Messen“ findet man in den „Grundlagen der Messtechnik“ in DIN 1319-1, der deutschen Norm der Messtechnik:

Messen: Ermitteln eines Wertes durch quantitativen Vergleich der Messgröße mit einer Einheit (Normal).

Messgröße: Diejenige physikalische Größe, der die Messung gilt.

Messgerät: Gerät, das alleine oder in Verbindung mit anderen Einrichtungen für die Messung einer Messgröße vorgesehen ist.

Messeinrichtung: Gesamtheit aller Messgeräte und zusätzlicher Einrichtungen zur Erzielung eines Messergebnisses.

Messwert: Der Wert einer Messgröße, der von einem Messgerät oder einer Messeinrichtung geliefert wird.

Messergebnis: Näherungswert für den wahren Wert der Messgröße, der durch Auswertung der mit einer Messeinrichtung gewonnenen Messwerte berechnet wird.

Messkette: Folge von Elementen eines Messgerätes oder einer Messeinrichtung, die den Weg eines Messsignals von der Aufnahme der Messgröße bis zur Bereitstellung der Ausgabe bildet (nach: DIN1319, 1995).

In Anlehnung daran kann man formulieren:

Definition. Ein „computerunterstütztes Messwerterfassungssystem“ ist eine Messeinrichtung, die Messergebnisse auf digitalen Datenträgern speichert und deren Weiterverarbeitung durch einen Computer ermöglicht.

Mit anderen Worten: ein Messsystem entspricht dann dieser Definition, wenn die Ergebnisse mittels eines Computers ausgelesen werden können. Ein Computerunterstütztes Messwerterfassungssystem besteht also immer aus mehreren Komponenten, der Messhardware und der -software zum Auslesen und gegebenenfalls zur Weiterverarbeitung der Messdaten aus der Hardware. Insgesamt beschreibt dies eine Messkette, an deren Ende die digitale Speicherung des Ausgangssignals auf dem Datenträger eines Computers steht.

Diese Definition ist durchaus weit gefasst, da keine weiteren Ansprüche an die Software gestellt werden. So ist z.B. ein Multimeter dann ein computerunterstütztes Messwerterfassungssystem in diesem hier definierten Sinn, wenn sowohl eine Schnittstelle zur Datenübertragung als auch die zugehörige Software auf dem Computer existiert.

Notwendige Bestandteile eines Computerunterstützten Messwerterfassungssystems sind nach der hier vorgenommenen Definition neben dem Computer die eigentliche Messhardware und die Software zum Übertragen und Abspeichern der Daten im Computer. Durch die vollständige Angabe dieser Komponenten kann ein System eindeutig identifiziert werden.

In der Praxis betrachtet man bei Benennung, Analyse und Nutzung sehr oft Familien von Computerunterstützten Messwerterfassungssystemen. So stellen z.B. zwar Cassy Lab/CASSY-S, Cassy Lab/PowerCassy (siehe Kapitel 2.1.1) oder auch Cassy Lab/Hand-Luxmeter der Definition nach jeweils eigenständige Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme dar. Diese Systeme zeichnen sich allerdings dadurch aus, dass zum einen in allen Fällen dieselbe Softwarekomponente verwendet und zum anderen die verschiedenen Hardwarekomponenten gleichzeitig über die Software ausgelesen werden können. Allgemein kann man also zwei Bedingungen formulieren, unter denen eine Zusammenfassung von Computerunterstützten Messwerterfassungssystemen (zu einer Familie) gerechtfertigt ist:

1. Jede Hardwarekomponente kann mit derselben Software ausgelesen werden.

2. Die Hardwarekomponenten können mindestens paarweise gleichzeitig ausgelesen werden.

In einigen Fällen ist es zudem sinnvoll, Kombinationen von Systemen zu untersuchen. So besteht z.B. VideoCom (siehe Kapitel 2.2.1) aus den (Teil-) Systemen VideoCom/VideoCom Bewegungen und VideoCom/VideoCom Intensitäten, die aber durch Bedienungs-, Technik- und auch Vertriebskonzept sehr eng verzahnt sind. Für eine vergleichende Analyse empfiehlt sich daher die Gegenüberstellung eines Systems oder eben einer Kombination von Systemen, die die einen entsprechenden Aufgabenbereich abdeckt, z.B. Webcam/Viana und Webcam/Excel (siehe Kapitel 4.2).

1.1.2 Klassifizierung von Computerunterstützten Messwerterfassungssystemen

Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme gibt es in den unterschiedlichsten Ausführungen (siehe auch Kapitel 2). Sie unterscheiden sich nicht nur in Funktionsumfang (z.B. Anzahl der messbaren Größen oder Auswertungs- bzw. Darstellungsmöglichkeiten) oder Bedienkonzept, auch der Kostenfaktor unterliegt von System zu System großen Schwankungen. Insbesondere für Analyse und natürlich für sinnvolle Vergleiche ist daher eine Einordnung in Klassen notwendig.

Würde man Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme allerdings anhand detaillierter funktionaler Eigenschaften von Hard- und Software in verschiedene Klassen unterteilen, so ergäbe sich durch die Komplexität dieser Systeme und der Menge an, durch unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten einzelner Komponenten bedingter, Variationen eine unüberschaubare und damit unpraktische Anzahl von Kategorien. Deshalb erscheint es sinnvoll, als Kriterium nicht einzelne Funktionen selbst, sondern die funktionale Flexibilität eines Messwerterfassungssystems (insbesondere der Hardwarekomponenten) zu untersuchen. Als einfachste Unterteilung soll hier die Differenzierung zwischen monolithischen und modularen Systemen dienen. Modulare Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme zeichnen sich im allgemeinen durch modular erweiterbare Basis-Interfaces und/oder Software aus, die dem gewünschten Funktionsumfang angepasst werden

können (siehe Kapitel 2.1). Dem gegenüber stehen spezialisierte (nicht erweiterbare) Messapparaturen für bestimmte Aufgabengebiete, die an einen Computer angeschlossen werden können (monolithische Systeme). Beispiele hierfür sind Einzelmessgeräte wie elektronische Waagen, Temperaturfühler, Bewegungssensoren aber auch das in Kapitel 2.2 beschriebene System VideoCom.

Obwohl die Preise für Computer und auch Elektronik zur Datenerfassung insbesondere im Vergleich zur Leistungsfähig in den letzten Jahren (bzw. Jahrzehnten) mitunter deutlich gesunken sind, stellte und stellt die Anschaffung eines Computerunterstützten Messwerterfassungssystems für Schulen und auch Universitäten weiterhin eine finanzielle Belastung dar. Besonders aus diesem Grund haben sich LowCost-Messwerterfassungssysteme als Alternative zu den „kommerziellen“ Systemen angeboten und sind auch in großer Anzahl entwickelt worden (siehe z.B. Roth, 1996; Wilhelm u. a., 2002; Nordmeier, 2003, oder auch Kapitel 3.4.3 in dieser Arbeit).

Zu LowCost-Systemen rechnet man im allgemeinen sowohl Systeme, die auf Computerkomponenten wie Soundkarte oder Maus aufbauen als auch Lösungen, die mehrere Multimeter (z.B. XLSmess), spezielle Interfaces oder Digitalkameras verwenden, die (als Hauptmerkmal) in Relation zu bei Lehrmittelfirmen erhältlichen für den Unterricht entwickelten, „kommerziellen“ Messwerterfassungssystemen deutlich kostengünstiger sind. Absolut trennscharf ist diese Einordnung allerdings nicht, weil zum einen einige der „traditionellen“ LowCost-Systeme wie z.B. die Messmaus mittlerweile auch von (Lehrmittel-) Firmen vertrieben und zum anderen auch immer häufiger Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme mit „abgespecktem“ Funktionsumfang zu vergleichsweise günstigen Preisen angeboten werden.

Insgesamt ergeben sich so vier Klassen:

- Modulare Interfacesysteme (modular und kommerziell),
- Einzelmessgeräte (monolithisch und kommerziell),
- LowCost-Interfacesysteme (modular und LowCost) und
- LowCost Peripherie (monolithisch und LowCost).

1.2 Analyse und Vergleich

1.2.1 Problemstellung

Das Kapitel 2 zeigt die Unterschiede zwischen computerunterstützten Messwerterfassungssystemen auf. Deutlich wird dies schon bei einer klasseninternen Betrachtung. So wirken z.B. die Systeme CASSY-S/CASSY Lab, Cobra3/Measure und CoachLab II⁺/Coach 6 zwar auf den ersten Blick sehr ähnlich: alle drei Systeme basieren auf nahezu beliebig durch Sensoren, Boxen oder Module erweiterbare Interfaces, erlauben die Aufnahme mehrerer Messgrößen gleichzeitig bei großer Messfrequenz- und Auflösung und bieten vielfältige Darstellungs- und Auswertungsmöglichkeiten.

Ein tieferer Blick auf die Funktionen von Hard- und Software, auf die Möglichkeiten speziell für die Nutzung im Physikunterricht enthüllt allerdings sehr wohl Unterschiede, insbesondere treten schon bei der Untersuchung der zugrundeliegenden Konzepte (der Messsysteme insgesamt und auch der Bedienung speziell) Differenzen zu Tage (vgl. Kapitel 4.1): Während das System CoachLab II⁺/Coach 6 durch die Konzeption als Autorensystem die Erstellung einer umfassenden Lernumgebung mit dem Experiment als Mittelpunkt erlaubt, steht bei CASSY-S/CASSY Lab die Erfassung, Darstellung und Auswertung vieler verschiedener Größen im Vordergrund. Cobra3/Measure begünstigt durch die Messgeräte-Methode (siehe Kapitel 2.1.3.4) insbesondere die komfortable Aufnahme einzelner Messgrößen. XLSmess dagegen spielt seine Vorteile hauptsächlich in einem Unterrichtskonzept aus, dass die Nutzung des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel beinhaltet.

Gravierender fallen diese Unterschiede naturgemäß noch bei der Betrachtung von computerunterstützten Messwerterfassungssystemen verschiedener Klassen – vor allem in Hinblick auf die Durchführung konkreter Versuche – aus (siehe Kapitel 3).

In der Theorie bietet dies für den Lehrenden die Möglichkeit, das Messsystem auszuwählen, das für die vorhandenen unterrichtlichen Voraussetzung und Konzepte bzw. für die Durchführung eines bestimmten Versuches am besten ge-

eignet ist. In der Praxis gestaltet sich die Auswahl allerdings als problematisch (Bernshausen und Winnenburg, 2006); überwiegend erschweren Zeit- und Kostenfaktoren die für solche Entscheidungen nötigen, gründlichen Untersuchungen Computerunterstützter Messwerterfassungssysteme.

Notwendig ist also ein Verfahren bzw. eine Vorgehensweise, mit der es nicht nur möglich ist, Messwerterfassungssysteme zielgerichtet zu analysieren, sondern diese auch unter Einbeziehungen der gegebenen Bedingungen individuell zu bewerten.

1.2.2 Methode

Bei der Erprobung, Analyse und Bewertung von Soft- und Hardware für den Unterricht haben sich Analyseraster bzw. Fragebögen bisher mehrfach bewährt (siehe z.B. Gervé, 2004; Kremser u. a., 1997). Für den hier entwickelten Fragebogen wurde ein Konzept verwendet, das

- als Leitfaden bei Erprobung, Analyse und Vergleich der verschiedenen Messwerterfassungssysteme dient;
- den Vergleich verschiedener Systeme auch noch in zeitliche Entfernung ermöglicht;
- Aussagen über die Nutzbarkeit der Systeme unter den jeweiligen Unterrichtsvoraussetzungen erlaubt.

Gewährleistet wird dies zum einen durch die Möglichkeit, verschiedene Aspekte Computerunterstützter Messwerterfassungssysteme anhand eines aus der Untersuchung der für diese Arbeit verwendeten Messeinrichtung abgeleiteten Kriterienkataloges (siehe Kapitel 1.2.3) zu bewerten. In Anlehnung an die von Friedrich Gervé entwickelten Kriterien zur Untersuchung von Lernsoftware für den Sachunterricht (Gervé, 2004) wird dabei jedem Kriterium ein Kontrast(kriterium) gegenübergestellt. Auf diese Weise wird für die Vergabe von Bewertungspunkten ein Rahmen vorgegeben.

Zum anderen kann jedes einzelne Merkmal mit einem individuellen Gewichtungsfaktor versehen werden. Diese Flexibilität gestattet es, sogar Systeme aus unterschiedlichen Klassen (evtl. sogar unter Berücksichtigung der Anforderungen

eines speziellen Versuches) miteinander zu vergleichen sowie insbesondere auch die unterrichtlichen Gegebenheiten mit in die Untersuchung einzubeziehen.

1.2.3 Kriteriensuche zur Analyse und Bewertung

Die Entwicklung eines Kriterienkataloges zur Analyse und Bewertung von Computerunterstützten Messwerterfassungssysteme erfolgte in zwei Schritten: zuerst wurden die allgemeinen Eigenschaften von Hard- und Software (mit anderen Worten die „technische Daten“) sowie die grundlegenden Bedienkonzepte bei der Aufnahme, Darstellung und Auswertung von Messungen untersucht. Auf dieser Basis wurden dann in einem zweiten Schritt exemplarische Versuchsaufbauten zur detaillierteren Analyse der Systeme entworfen. Dafür wurden Experimente gesucht, für die alle untersuchten Messwerterfassungssysteme (möglichst in ihren Basiskonfigurationen) genutzt werden können. Weiterhin sollte die Durchführung einerseits ohne Computerunterstützung möglich sein, andererseits aber gleichzeitig hohe Anforderungen bei Aufnahme, Darstellung und Auswertung stellen. Die Wahl fiel dabei auf den Themenbereich „Versuche zur Interferenz und Beugung mit dem Laser“. Auch wenn die Untersuchung von Interferenzmustern durchaus nur unter Zuhilfenahme eines Lineals geschehen kann (siehe Kapitel 3.2), so stellt die Durchführung dieser Experimente mit Computerunterstützung doch hohe Ansprüche an das verwendete System.

Die Erwartungen an Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme (siehe z.B. Pohlmann, 2002) lassen sich so zusammenfassen: sie sollen bei der Durchführung von Experimenten im Physikunterricht unterstützen und die Möglichkeiten bei Aufnahme, Darstellung und Auswertung von Messwerten erweitern. In dieser grundlegenden Forderung verbergen sich drei Anforderungskomplexe, die an solche Systeme gestellt werden:

1. Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme sollen bei der Durchführung von Experimenten im Physikunterricht unterstützen und **die Möglichkeiten bei Aufnahme, Darstellung und Auswertung von Messwerten erweitern:**

Die vordergründigste Aufgabe von Computerunterstützten Messwerterfassungssystem ist natürlich die Aufnahme und Verarbeitung von Messwerten.

Daher gilt es, zu untersuchen, anhand welcher Kriterien sich die **Funktionalität** dieser Systeme bewerten lässt.

2. Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme sollen bei der **Durchführung von Experimenten** im Physikunterricht **unterstützen** und die Möglichkeiten bei Aufnahme, Darstellung und Auswertung von Messwerten erweitern:

Ein Messwerterfassungssystem kann nur dann bei der Durchführung von Systemen unterstützen, wenn es bedienbar ist, d.h. auch Aspekte der **Benutzerfreundlichkeit** sollten ein Bestandteil der Analyse sein.

3. Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme sollen bei der Durchführung von Experimenten **im Physikunterricht** unterstützen und die Möglichkeiten bei Aufnahme, Darstellung und Auswertung von Messwerten erweitern:

Der Unterrichtsalltag stellt besondere Bedingungen an Hard- und Software. Das macht insbesondere auch die Betrachtung der untersuchten System in Hinblick auf **unterrichtspraktische Aspekte** notwendig.

Die Untersuchung der verwendeten Computerunterstützten Messwerterfassungssysteme geschah daher im Hinblick auf diese drei Schwerpunkte.

Kapitel 2

Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme

2.1 Computerunterstützte

Messwerterfassungssysteme – Modulare Interfacesysteme und LowCost Interfaces

Modulare Interfacesysteme (s. Kap 1.1.2) gibt es in den unterschiedlichsten Ausführungen, sowohl was Funktionsumfang, Bedienung und Anwendungsmöglichkeiten im Physikunterricht betrifft. Zwei der am weitesten in Deutschland verbreiteten Systeme sind CASSY-S (LD Didactic GmbH) und Cobra3 (Phywe Systeme GmbH & Co. KG) (s. Wilhelm und Gröber, 2006) während in den Niederlanden die durch die Software Coach (Centre for Microcomputer Applications) unterstützen Interfaces diese Stelle einnehmen.

Als typisches Beispiel für ein LowCost Interface-System fiel die Wahl auf XLSmess. XLSmess ist ein preisgünstiges Computerunterstütztes Messwerterfassungssystem, dass auf Basis der Tabellenkalkulation Microsoft Excel über die serielle Schnittstelle (RS232) ansteuerbare Messgeräte (z.B. Multimeter oder Laborwagen) zur Messdatenerfassung verwendet.

2.1.1 CASSY-S/CASSY Lab

2.1.1.1 Hardware

Die CASSY-S-Familie ist der Nachfolger zum Messsystem CASSY (CASSY: Computer Assisted Science SYstem). Im alten System war das Kernstück der MS-DOS-Connector (Hanschke und Recht, 1993), eine Steckkarte für den PC, über die verschiedene Geräte, wie CASSY-E, VKA-CASSY oder ein KFZ-Modul angeschlossen werden konnten.

Der Kern der CASSY-S-Familie besteht dagegen aus drei Teilen: Sensor-CASSY, Power-CASSY und CASSY-Display. Sensor-CASSY lässt sich am ehesten mit dem alten CASSY-E vergleichen, das Interface dient zur Messdatenaufnahme direkt über vorhandene Spannungs- und Stromeingänge, über Sensorboxen (Sensorboxen des alten Systems können weiterverwendet werden) oder über direkt aufsteckbare Sensoren (siehe Tabelle 2.1). So sind insgesamt 5 analoge Eingänge vorhanden, von denen je 2 auf A und B bei einer Auflösung von 12 Bit gleichzeitig nutzbar sind. Dies ermöglicht eine Abtastrate von maximal 200000 Werten/s (100000 Werte/s pro Eingang). Zusätzlich ist ein Speicher für max. 32000 Werte (16000 Werte pro Eingang) vorhanden, was Datenverluste bei Übertragungsproblemen zwischen PC und Interface verhindert. Über die Sensorboxen (z.B. Timer- oder GM-Box) können auf den Steckplätzen A und B vier Timer-Eingänge angesprochen werden, die eine max. Zählfrequenz von 100 kHz und eine Zeitauf-
lösung von $0,25 \mu s$ aufweisen. Die Messzeit zwischen zwei Ereignissen am selben Eingang muss $100 \mu s$, an verschiedenen Eingängen $0,25 \mu s$ betragen. Weitere (digitale) Ein- und Ausgänge auf den Sensorbox-Steckplätzen werden zur automatischen Erkennung von Sensoren bzw. Sensorboxen und deren automatische



Abbildung 2.1:
Sensor-CASSY (Quelle:
www.leybold-didactic.de)

Messbereichsumschaltung verwendet. Außerdem verfügt das Interface über eine pulswertenmodulierte Spannungsquelle, deren Maximalspannung (bis zu 16 V) über einen Drehknopf eingestellt werden kann und ein Umschaltrelais für einen Bereich bis maximal 100 V/2 A.

Das Sensor-CASSY-Modul kann über den CASSY-Bus an weitere Module oder das Display angeschlossen werden, der Anschluss an den PC erfolgt über den USB-Port bzw. die serielle Schnittstelle (RS232). Die Stromversorgung erfolgt über ein Netzteil oder ein benachbartes CASSY-Modul.

Das ebenfalls kaskadierbare Interface Power-CASSY ist eine programmierbare Spannungs- oder Stromquelle mit integrierter Strom- oder Spannungsmessung, anschließbar an Sensor-CASSY, CASSY-Display oder den Computer. Der Aussteuerbereich beträgt für Spannungen ± 10 V, für Ströme ± 1 A, Abtastrate und Speicher für Strom- und Spannungsmessungen entsprechen denen der CASSY-S. Auch hier erfolgt die Stromversorgung (12 V) über ein Netzteil mit Hohlstecker.

Zur Messwerterfassung ohne Computer dient das CASSY-Display. Es unterstützt bis zu 8 Sensor-CASSYs, was insgesamt 16 Messkanälen entspricht. Ein Messwertspeicher von bis zu 32000 Messwerten bleibt auch beim Ausschalten erhalten und kann über die USB- bzw. RS232-Schnittstelle von einem Computer ausgelesen werden. Die Stromversorgung kann neben einem Netzteil auch über eine tragbare 12 V-Spannungsquelle netzunabhängig erfolgen.

Alle drei CASSY-Module sind mikrocontrollergesteuert, das Betriebssystem kann bei Bedarf über die Software (CASSY Lab, siehe Kapitel 2.1.1.2) aktualisiert werden.

2.1.1.2 Software

Die Aufnahme und Verarbeitung der Messdaten geschieht über das Programm CASSY Lab (Hund und Wietzke, 2007). Im Gegensatz zur alten CASSY-Version unterstützt diese Software alle Sensorboxen/Sensoren und zusätzlich noch eine Reihe nicht zum eigentlichen Messwerterfassungssystem gehörender Geräte wie VideoCom, Handmessgeräte etc. Ausnahme dazu ist nur die VKA-Box, die ein Zusatzprogramm benötigt, das allerdings im Programmpaket enthalten ist und automatisch von CASSY Lab nachgeladen wird. Zusätzlich besteht die Möglich-

Kapitel 2 Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme

Sensorbox	Messgröße
ohne	Spannung, Strom
Stromquellen- Box (524 031)	Widerstand, Weg
BMW-Box (524 032)	Weg, Winkel
GM-Box (524 033)	Ereignisse, Rate
GM-Zählrohr S (524 0331)	Ereignisse, Rate
Timer-Box (524 034)	Pegel, Ereignisse, Frequenz, Rate, Periodendauer, Laufzeit, Verdunkelungen, Dunkelzeit, Weg, Winkel, Linearer Stoß, Drehstoß
pH-Box (524 035)	pH-Wert, Spannung
KTY-Box (524 036)	Temperatur, Widerstand
Leitfähigkeits- Box (524 037)	Leitfähigkeit
B-Box (524 038)	magnetische Flussdichte, Relativdruck, Absolutdruck
Kombi B-Sonde S (524 0381)	magnetische Flussdichte (tangential oder axial)
Axiale B-Sonde S (524 0382)	magnetische Flussdichte (axial)
dU-Box (524 039)	Spannung
μ V-Box (524 040)	Spannung
Brücken-Box (524 041)	Kraft
Kraftsensor S, ± 50 N (524 042)	Kraft, Beschleunigung
30-A-Box (524 043)	Strom
Temperatursensor S (524 044)	Temperatur
Temperatur-Box (524 045)	Temperatur, Differenztemperatur
Lux-Box (524 051)	Beleuchtungsstärke
Lux-Adapter S (524 0511)	Beleuchtungsstärke
Elektrometer-Box (524 054)	Spannung
Amplifier-Box (524 055)	Spannung
Spirometer-Box (524 056)	Volumenfluss
Klima-Box (524 057)	rel. Luftfeuchte, Temperatur, Luftdruck, Beleuchtungsstärke
Feuchtefühler S (524 0572)	rel. Luftfeuchte, Temperatur
VKA-Box (524 058)	Impulshöhenverteilung
Mikrofon S (524 059)	Spannung, Frequenz, Laufzeit, Pegel
Kraftsensor S, ± 1 N (524 060)	Kraft
UI-Sensor S (524 062)	Spannung, Strom
UIP-Sensor S (524 0621)	Spannung, Strom
Drucksensor S, 2000 hPa (524 064)	Relativdruck
Absolutdrucksensor S (524 065)	Absolutdruck
Drucksensor S, 70 hPa (524 066)	Relativdruck
Leitfähigkeits-Adapter S (524 0671)	Leitfähigkeit, Temperatur
NiCr-Ni-Adapter S (524 0673)	Temperatur, Differenztemperatur
Fliehkraftgerät S (524 068)	Fliehkraft
Eintauch-Photometer S (524 069)	Transmission, Extinktion, Konzentration
Ultraschall-Bewegungs. S (524 070)	Weg, Temperatur
Laser-Bewegungssensor S (524 073)	Weg, Laufzeit
Timer S (524 074)	wie Timer-Box
Drehbewegungssensor S (524 082)	Winkel, Weg, Amplitude, Periodendauer, Frequenz

Tabelle 2.1: CASSY-S: Sensoren und Sensorboxen für den Physikunterricht (Quelle: Hund und Wietzke, 2007)

keit, eigene Software für CASSY-S zu erstellen (Hund u. a., 2007b), Informationen dazu gibt es unter www.ld-didactic.com.

CASSY Lab benötigt Microsoft Windows ab Version 95.

Für die Produkte der CASSY-S-Reihe liegt ein umfangreiches Handbuch vor (Hund u. a., 2007a, ca. 520 Seiten), das sowohl in einer gedruckten Fassung bestellbar als auch im PDF-Format (in verschiedenen Sprachen) direkt aus dem Internet ladbar ist. Die integrierte, kontextbezogene Hilfe im Programm ist zu diesem Handbuch textidentisch. Sowohl die gedruckte als auch die digital verfügbare Ausgabe enthalten neben den eigentlichen Hilfetexten zu Hard und Software auch eine große Anzahl an Versuchsbeschreibungen. Zum Lieferumfang der Software gehören auch die dazu entsprechenden Beispieldateien (Geräte- und Softwareeinstellungen sowie Beispielmessungen). Speziell zur Bedienung der Software stehen zusätzlich englischsprachige Dokumente zur Verfügung, die einen Kurzüberblick über die wichtigsten Funktionen geben („Quick Start“) und bestimmte, wiederkehrende Fragestellungen („Frequently Asked Questions“) behandeln.

2.1.1.3 Grundsätzliche Bedienung

Die Installation der Software funktioniert entweder über die Autostart-Funktion beim Einlegen der CD oder durch manuelles Starten des Programmes *auto-start.exe*. Der Benutzer wird danach durch die Installationsroutine geführt. Zur uneingeschränkten Nutzung ist die einmalige Eingabe eines Freischaltcodes notwendig (Hund u. a., 2007a).

CASSY Lab verzichtet auf die sonst von vielen Programmen gewohnte Menüleiste, das Bedienkonzept setzt auf Kontextmenüs¹ und sogenannte Speed-Buttons (Abbildung 2.2), deren Funktionen gleichzeitig auch über die Funktionstasten (F-Tasten) ausgeführt werden können.

Die Funktionen der Buttons sind im einzelnen (von links nach rechts, Hund u. a., 2007b):

- (alternativ: F4) Löschen der Messungen unter Beibehaltung der Einstellun-

¹Ein Kontextmenü ist ein Menü, das beim Klicken mit der zweiten Maustaste (meist die rechte) auf ein Objekt erscheint und nur Befehle enthält, die für dieses Objekt (in diesem Kontext) sinnvoll sind.

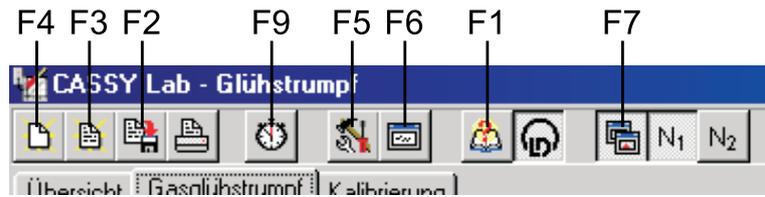


Abbildung 2.2: Speed-Buttons des Programmes CASSY Lab (Quelle: Hund u. a., 2007b)

gen, bzw. Löschen der Einstellungen, wenn keine Messung vorhanden ist. Eine zweimalige Anwendung löscht Messungen und Einstellungen.

- (alternativ: F3) Laden einer Messreihe mit den Einstellungen. Es können auch Messreihen an bestehende Messungen angehängt werden (ohne Einstellungen oder Auswertungen), wenn gleiche Messgrößen vorhanden sind. Zusätzlich können Dateien im ASCII-Format importiert werden.
- (alternativ: F2) Speichern der aktuellen Messreihen inklusive Einstellungen und Auswertungen. Auch hier steht ein ASCII-Export-Filter zur Verfügung.
- Drucken der aktuellen Tabelle oder des Diagramms.
- (alternativ: F9) Starten und Stoppen einer Messung.
- (alternativ: F5) Aufrufen des Einstellungsfensters, zweimalige Betätigung öffnet das Messparameter-Fenster.
- (alternativ: F6) Darstellen der Statuszeile im eigenen Fenster.
- (alternativ: F1) Hilfe.
- Versionsinformationen und Eingabe des Freischaltcodes.
- Schließen und öffnen aller Anzeigeelemente.

Weitere Programmfunktionen erreicht man durch Klicken auf die verschiedenen Bedienungselemente (siehe Abbildung 2.3) mit der rechten oder linken Maustaste. So kann man über die Kanal-Buttons ein Messgerät mit den aktuellen Messwerten ein- oder ausblenden (linke Maustaste) oder die Einstellungen dieses Kanals ändern (rechte Maustaste). Die zu den Kanälen gehörenden Anzeigeelemente

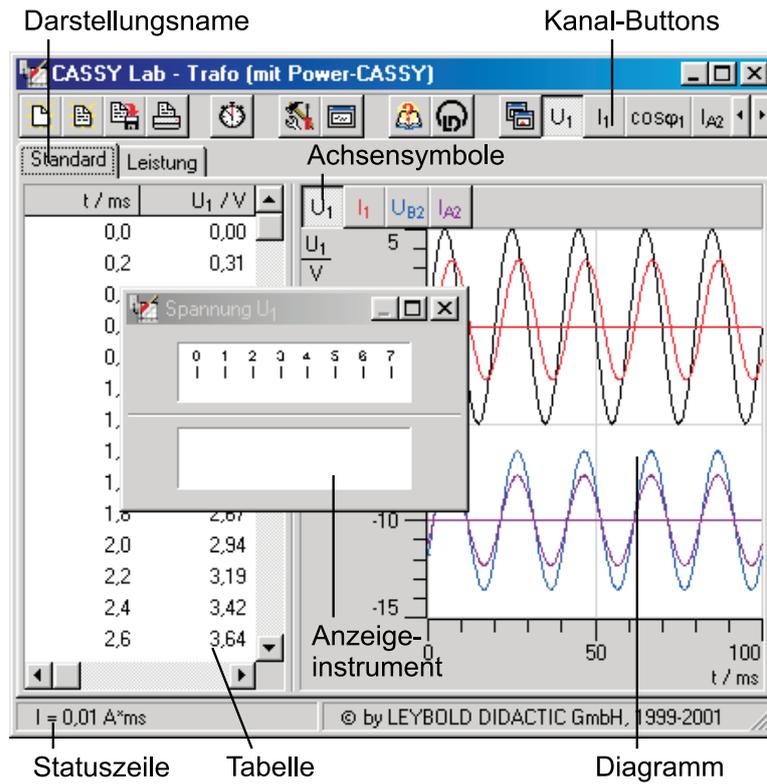


Abbildung 2.3: Bedienungselemente im Programm

CASSY Lab (Quelle: Hund und Wietzke, 2007)

bestehen aus einer Digital- und einer Analog-Anzeige, die Größe kann bis hin zur Vollbilddarstellung frei verändert werden. Auch hier ermöglicht ein Rechtsklick Veränderungen der Kanaleinstellung. Wird ein (Kanal-)Button per Drag & Drop in die Region der Achsensymbole (über die die y-Skala umgeschaltet werden kann) gezogen, so erscheinen die zu dem Kanal gehörende Messreihe samt Diagramm in der aktuellen Darstellung (und kann auch ebenso wieder daraus entfernt werden). Darstellungen werden im Einstellungsfenster (F5) definiert und konfiguriert, sie werden registrierkartenartig auf dem Bildschirm angeordnet und können über ihre unter den Speed-Buttons gelegenen Namen aktiviert werden.

In der Tabelle ist ein Editieren der Werte möglich, außerdem können Werte sowohl innerhalb der Tabelle als auch zwischen Anzeigeinstrument und Tabelle per Drag & Drop verschoben werden. Ein Rechtsklick im Tabellenbereich erlaubt Zugriff auf Spaltenbelegung und Schriftgröße, zusätzlich lassen sich so Spalten oder Messreihen löschen, sowie die Tabelle in die Windows-Zwischenablage kopieren. Über einen Rechtsklick in das Diagramm können ebenfalls Formatierungsdaten

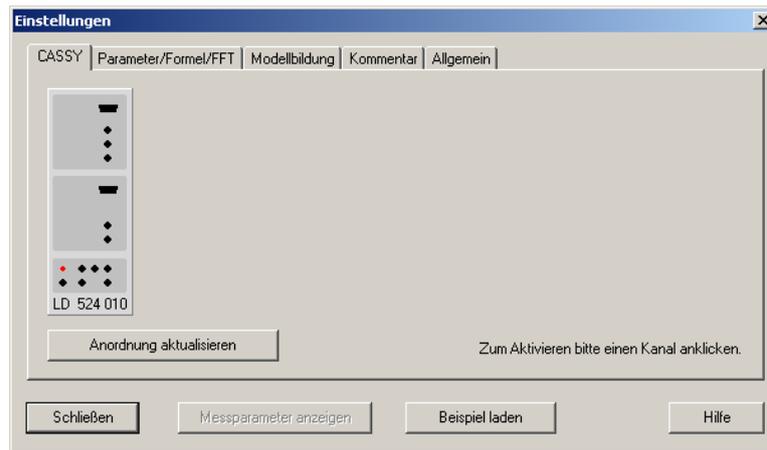


Abbildung 2.4: Das Einstellungsfenster von CASSY Lab
(Quelle: Hund und Wietzke, 2007)

eingestellt werden, dazu stehen noch eine Reihe von Auswertungsfunktionen (z.B. Integral berechnen, Gaußverteilung berechnen oder Mittelwert einzeichnen) zur Verfügung, außerdem können Markierungslinien und Textelemente im Diagramm platziert werden. Es besteht auch die Möglichkeit, einen Ausschnitt des Graphen zu vergrößern; dieser kann dann über die Bildlaufleisten oder die Skala verschoben werden. Für viele dieser Funktionen stehen Tastenkombinationen zur Verfügung, meist in Verbindung mit der Taste „ALT“. Das Größenverhältnis Diagramm – Tabelle kann durch Verschieben der Trennlinie frei variiert werden.

2.1.1.4 Die Aufnahme von Messwerten

CASSY Lab unterstützt zwar in Bezug auf die Sensorboxen Plug'n'Play, allerdings nicht beim Auffinden der CASSY-S-Module, falls diese an die serielle Schnittstelle angeschlossen werden. Ein Suchalgorithmus könnte diese Geräte zum Absturz bewegen. Deshalb wird in der Registrierkarte „**Allgemein**“ des Einstellungs-Fensters (siehe auch Abbildung 2.4) die Schnittstellenbelegung eingegeben, auf welche durch die Speichermöglichkeit auch beim nächsten Start des Programmes wieder zurückgegriffen wird. Die Sensorboxen und die Sensoren können im laufenden Betrieb ausgetauscht werden. Sobald das Programm die CASSY-Module gefunden hat, erscheint die aktuelle Anordnung der Module, Boxen und Sensoren in der Registrierkarte „**CASSY**“ (Abbildung 2.4). Dort können dann durch Klicken mit der Maus die für die Messung benötigten Ein-

und Ausgänge (Kanäle) ausgewählt und konfiguriert (z.B. Wahl der Messgröße und des Messbereiches) werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, in der Karte „**Parameter/Formel/FFT**“ eigene Größen zu definieren, die sich aus den Werten anderer Kanäle berechnen oder manuell in die Tabelle eingetragen werden können. Es können eigene Formeln eingegeben oder vorgegebene Funktionen wie zeitliche Ableitung, Integral oder Mittelwert verwendet werden. Einen Vergleich der erfassten Messdaten mit einem mathematischen Modell erlauben die Optionen im Tab „**Modellbildung**“. Das Modell wird dabei über die Eingabe von Differentialgleichungen definiert, geeignete Konstanten können zur manuellen Anpassung frei variiert werden (Hund u. a., 2007a).

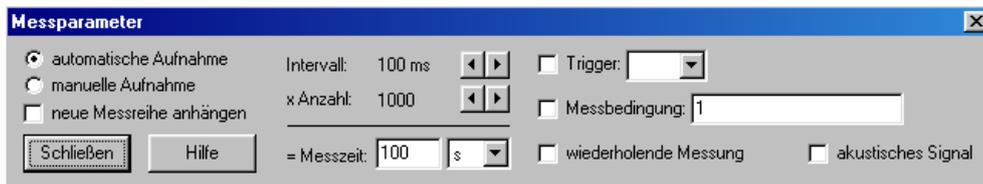


Abbildung 2.5: Das Messparameter-Fenster (Quelle: Hund und Wietzke, 2007)

Im Messparameter-Fenster (2x F5, siehe Abbildung 2.5) wird die Messung selbst gesteuert. Hier kann eingestellt werden, ob diese manuell oder automatisch erfolgen soll. Bei manueller Messwertaufnahme werden die aktuellen Daten der Anzeigeeinstrumente übernommen, d.h. es wird genau eine Zeile in der Tabelle ausgefüllt. Bei Auswählen der automatischen Messung erscheinen eine Reihe weiterer Einstellungsmöglichkeiten: So kann sowohl das Messintervall als auch die Anzahl der aufzunehmenden Werte bestimmt und damit auch die Gesamtmesszeit festgelegt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, einen Trigger festzulegen, der die Messung startet, d.h. einer der Kanäle funktioniert als Auslöser der Messung, z.B. wenn eine Spannung einen bestimmten Grenzwert über- oder unterschreitet. Eine weitere Möglichkeit, den Zeitpunkt und die Dauer einer Messung zu bestimmen ist die Eingabe einer Messbedingung („ereignisgesteuerte Messung“), welche allerdings nur ausgewertet wird, wenn das Messintervall größer als $100 \mu s$ ist. Diese Bedingung wird als Formel hinterlegt, zum Beispiel würde „date = 21.4.1999 and time >= 13:00 and time <= 14:00“ ein Zeitfenster zwischen 13.00 und 14.00 Uhr am 21.4.99 für die Messung festlegen, während „UA1 < 2 and UA1 > 1“ die

Messdatenaufnahme nur dann auslöst, wenn die Spannung am Eingang UA1 zwischen 1 V und 3 V liegt (Hund u. a., 2007b). Gestartet wird der Messvorgang mit F9 bzw. dem zugehörigen Speed-Button. Das Optionskästchen „Neue Messreihe anhängen“ entscheidet dabei, ob die neue Messreihe an die alte(n) angehängt wird oder diese ersetzt.

2.1.1.5 Darstellung und Auswertung von Messungen

Das Programm CASSY Lab stellt eine Reihe von grafischen Auswertungen zur Verfügung, die nach einem Klick mit der rechten Maustaste auf das Diagramm zur Auswahl stehen (Hund und Wietzke, 2007):

- **Achsenbelegung ändern.**

Dieser Befehl öffnet das Darstellungsfenster (siehe auch Kapitel 2.1.1.3). Hier kann die Belegung und die Umrechnung der x-Achse sowie der y-Achsen (bis zu 8 pro Darstellung) geändert werden.

- **Koordinaten anzeigen.**

Kann alternativ auch über die Tastenkombination „ALT + K“ aufgerufen werden. Bei Aktivierung erscheinen die aktuellen Koordinaten des Mauszeigers in der Statuszeile, bis entweder die Funktion ausgeschaltet oder eine andere Auswertungsfunktion ein Ergebnis in die Statuszeile schreibt.

- **Linienbreite wählen.**

Hier kann die Linienbreite des Diagramms und der Auswertungen eingestellt werden (schmal/mittelbreit/dick).

- **Werteanzeige wählen.**

Mit Hilfe dieser Auswahl läßt sich das grafische Erscheinungsbild der Messwerte einstellen. Dabei stehen folgende Funktionen zur Verfügung:

Werte einblenden	Messwerte werden durch Quadrate, Kreise etc. markiert
Verbindungslinien einblenden	Messwerte werden durch Linien verbunden
Balken einblenden	Messwertbalken
Achsen einblenden	Zeigt Nulllinie der x- und y-Achse

- **Skalierung wählen.**

Einstellmöglichkeiten sind: Skalierung aus, Skalierung links und oben oder Skalierung links und unten.

- **Raster einblenden.**

Das Raster im Diagramm kann ein- oder ausgeblendet werden.

- **Zoomen.**

Kann alternativ auch über die Tastenkombination „ALT + Z“ aufgerufen werden. Nach Auswahl dieser Funktion kann ein Bereich durch klicken und ziehen mit der linken Maustaste vergrößert werden.

- **Zoom ausschalten.**

Kann alternativ auch über die Tastenkombination „ALT + A“ aufgerufen werden. Die Vergrößerung wird ausgeschaltet.

- **Markierung setzen.**

Der Anwender kann hier zwischen Text („ALT + T“), senkrechter („ALT + S“) und waagerechter Linie („ALT + W“), sowie einer Differenzlinie („ALT + D“) wählen. Die Option Text übernimmt als Vorschlag den aktuellen Inhalt der Statuszeile, dieser kann übernommen oder editiert werden, es stehen drei Schriftgrößen zur Auswahl. Die Differenzlinie ist eine beliebige Linie zwischen zwei Punkten im Diagramm, deren Abstand zusätzlich in der Statuszeile angegeben wird.

- **Mittelwert einzeichnen.**

Nach dem Markieren des Kurvenbereiches, für den der Mittelwert berechnet werden soll, wird dieser in das Diagramm eingetragen, in der Statuszeile erscheint der Wert und seine Standardabweichung.

- **Anpassung durchführen.**

Verschiedene Funktionen sind im Programm für die Anpassung einer Kurve an die Messwerte vorgegeben:

Ursprungsgerade	$y = A \cdot x$
Ausgleichsgerade	$y = A \cdot x + B$
Parabel	$y = A \cdot x^2 + B \cdot x + C$
Hyperbel $1/x$	$y = A/x + B$
Hyperbel $1/x^2$	$y = A/x^2 + B$
Exponentialfunktion	$y = A \cdot e^{-x/B}$
Einhüllende einer Schwingung	$y = \pm A \cdot e^{-x/B} + C$

Zusätzlich können noch freie Funktionen (Tastenkombination: „ALT + F“) $f(x, A, B, C, D)$ eingegeben werden. In diesem Falle müssen aber auch möglichst realistische Startwerte für die Variablen A bis D bestimmt werden, sowie ein maximale Berechnungszeit. Die Parameter können auch konstant gehalten werden. Nach Wahl der Anpassungsart muss auch hier der Wertebereich mit der linken Maustaste markiert werden. Die aktuellen Parameter werden nach der Anpassung in die Statuszeile eingetragen.

- **Integral berechnen.**

Es kann sowohl die Fläche zwischen Kurve und x-Achse als auch die eines Peaks berechnet werden. Wieder muss der Wertebereich markiert werden.

- **Weitere Auswertungen.**

Im Menüpunkt „Weitere Auswertungen“ stehen einige eher speziellere Funktionen zur Verfügung:

- **Poissonverteilung.**

Diese Funktion ist, ebenso wie die zur Berechnung der Gaußverteilung, nur bei Häufigkeitsverteilungen sinnvoll. Es werden Anzahl der Ereignisse n , Mittelwert μ und Standardabweichung σ der Messwerte des markierten Bereichs in der Statuszeile ausgegeben und die Poissonverteilung ($y = n \cdot \mu^x / x! \cdot e^{-\mu}$) im Diagramm eingezeichnet.

- **Gaußverteilung.**

Auch hier werden Anzahl der Ereignisse, Mittelwert und Standardabweichung ausgegeben, allerdings die Gaußverteilung ($y = \frac{n}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(\frac{-(x-\mu)^2}{1\sigma^2}\right)$) im Diagramm eingezeichnet.

– **Peakschwerpunkt berechnen.**

Berechnet den Schwerpunkt des markierten Peaks und trägt ihn in die Statuszeile ein.

– **Äquivalenzpunkt bestimmen.**

Diese Auswertung findet ihre Anwendungsmöglichkeiten bei Titrationskurven pH gegen Volumen. Nach Markierung des gewünschten Kurvenbereichs wird der Äquivalenzpunkt und der pks-Wert in der Statuszeile ausgegeben.

– **Systole und Diastole bestimmen.**

Sollen Blutdruckkurven ausgewertet werden, so lassen sich mit Hilfe dieser Funktion die Systole und Diastole im markierten Bereich bestimmen.

• **Letzte Auswertung löschen.**

Auch: „ALT + Backspace“. Löscht die zuletzt erstellte Auswertung.

• **Alle Auswertungen löschen.**

Löscht alle Auswertungen.

2.1.2 Cobra3/Measure

2.1.2.1 Hardware

Im System Cobra3 existieren 4 Basis-Interfaces: BASIC-UNIT, CHEM-UNIT, COM-UNIT, DISPLAY-UNIT (Phywe, 2007d). Die BASIC-UNIT ermöglicht den Anschluss von Messmodulen (vergleichbar den CASSY-S-Sensorboxen) und Sensoren (siehe Tabelle 2.2). Dafür stehen insgesamt 5 analoge Eingänge zur Verfügung, von denen 3 gleichzeitig nutzbar sind. Unter Verwendung des Cobra3-Messmodulkonverters (s. Phywe, 2007c) sind so 3 Module oder 2 Module und 1 Sensor bzw. 1 Spannung oder 1 Modul und 2 Sensoren bzw. 2 Spannungen parallel anschließbar. Die Abtastrate beträgt dabei insgesamt 500000 Hz, der UNIT-interne Messwertspeicher fasst 12000 Werte. Zusätzlich bietet die BASIC-UNIT zwei digitale Eingänge (Timer/Counter) mit einer Abtastrate von 1 MHz bzw 4 MHz. Zusammen können so bis zu 4 verschiedene Messgrößen gleichzeitig erfasst werden. Weiterhin verfügt das Interface über eine Spannungsquelle (geglättete Gleichspannung, 5 V/0,2 A) zur Versorgung von Lichtschranken, Lämpchen oder anderen Verbrauchern.

Die BASIC-UNIT (s. Abbildung 2.6) kann über ein Bus-System mit weiteren (bis zu insgesamt 8) UNITs (BASIC-, CHEM-, COM- oder DISPLAY-UNITs) kombiniert werden. Der Anschluss an den Computer erfolgt über einen seriellen (RS232) Anschluss, über einen entsprechenden Adapter ist auch die Nutzung des Universal Serial Bus (USB) möglich.

Das Interface CHEM-UNIT ist, wie der Name schon andeutet, primär auf die Anforderungen des Bereiches der Chemie abgestimmt. Es ermöglicht die gleichzeitige Messung von 8 Messgrößen (pH /Potenzial, Temperatur, Leitfähigkeit, Spannung) an 10 Eingängen.

Die COM-UNIT dient zur Messwerterfassung ohne angeschlossenen Computer. Dabei werden bis zu 8 BASIC- bzw. CHEM-UNITs gleichzeitig unterstützt. Das



Abbildung 2.6:
BASIC-UNIT (Quelle: Weißel
u. a., 2007)

Kapitel 2 Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme

Mess-Module	Mess-Sensoren	Software-Modul	Messgröße
ohne	ohne Shunt-Widerstand (z.B. 39104.69)	Universalschreiber (14504.61)	Spannung Strom (Shunt)
ohne	Gabellichtschranke (11207.30)	Timer/Counter (14511.61)	Zeit
	Gabellichtschranke, compact (11207.20)	Translation/Rot. (14512.61)	Strecke Winkel
	Bewegungsaufnehmer (12004.10)	Translation/Rot. (14512.61)	Strecke/Winkel
	Messmikrofon (03542.00) Mikrofon mit Verstärker (03543.00)	Frequenzanalyse (14514.61) Timer/Counter (14511.61)	Frequenz, Pegel Spektrum
	Temperatursensor, Halbleiter (12120.00)	Temperatur (14503.61)	Temperatur
	Fotodiode, BPW24, G1 (39119.01)	Universalschreiber	Beleuchtungsst.
	Drucksensor 2 bar abs. (12128.00) Drucksensor 2 bar diff. (12129.00) Drucks. 80 mbar diff. (12130.00)	Druck (14510.61)	Druck
	Newton-Sensor 50N (12125.00)	Kraft/Tesla (14515.61)	Kraft
	Strom-Sensor 6A (12126.00) Strom-Sensor 30A (12127.00)	Universalschreiber (14504.61)	Strom
	Windsensor (12124.00) Hygrometer (12121.00) Kugelfallgerät (02502.88)	Wetterstation (14518.61) Timer/Counter (14511.61)	Windstärke Luftfeuchte, Temp. Weg-Zeit-Gesetz
Druck (12103.00)	ohne	Druck (14510.61) Gasgesetze (14516.61)	Druck
Newton (12110.99)	Newton-Sensor (12110.01)	Kraft/Tesla (14515.61)	Kraft
Temperatur NiCr-Ni (12104.00)	NiCr-Ni Tauchfühler (13615.03) Thermoel. Mikromantel (13615.01) Thermoel. NiCr-Ni (13615.02) Oberflächenfühler (13615.04) Tauchfühler, Teflon (13615.05)	Temperatur (14503.61)	Temperatur
Temperatur Pt 100 (12102.00)	Tauchsonde Pt 100 (11759.01) Oberflächenfühler (11759.02) Tauchsonde, Teflon (11759.04)	Temperatur (14503.61)	Temperatur
Lux (12107.00)	Luxmeter-Sonde (12107.01)	Lux (14507.61)	Beleuchtungsst.
Tesla (12109.00)	Hall-Sonde, axial (13610.01) Hall-Sonde, tangential (13610.02)	Kraft/Tesla	Magn. Flussdichte
GM-Zählrohr (12106.00)	Zählrohr, Typ A (09025.11) Zählrohr, Typ B (09005.00)	Radioaktivität (14506.61)	radioakt. Strahlung
Leitfähigkeit (12108.00)	Leitfähigkeitsmesszelle (18151.02)	Leitfähigkeit (14508.61)	Leitfähigkeit
Funktionsgen. (12111.00)		Powergraph (14525.61)	Strom, Spannung, Frequenz
Industrie- Sensor Adapter (12132.00)	Standard Industrie-Sensoren (24 V)	Powergraph (14525.61)	Spannung Strom

Tabelle 2.2: Cobra3: Module und Sensoren für den Physikunterricht (Quelle: Phywe, 2007d)

Interface kann auf dem alphanumerischen LCD-Display bis zu 4 Messwerte anzeigen und/oder an bis zu zwei DISPLAY-UNITs ausgeben, ist die als Großanzeige funktionieren.

Die Firmware aller UNITS sowie der Module kann über die Software Measure (siehe Kapitel 2.1.2.2) aktualisiert werden.

2.1.2.2 Software

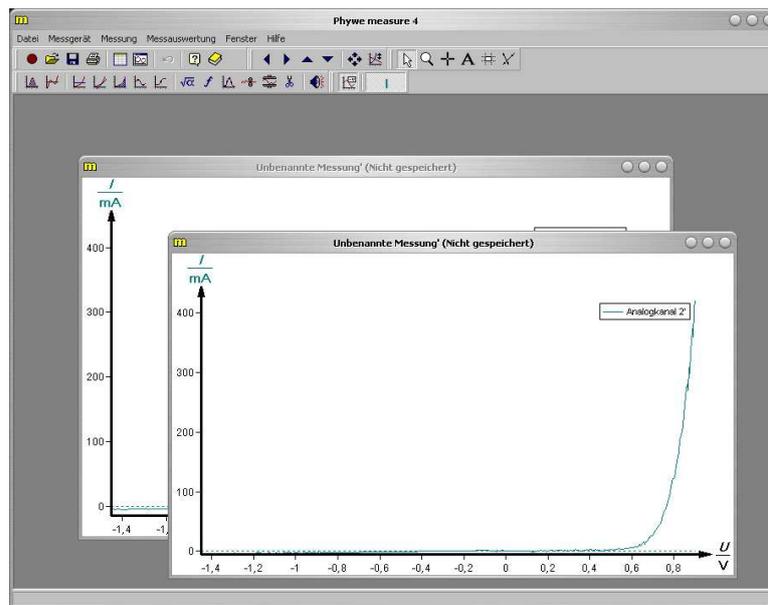


Abbildung 2.7: Das Hauptfenster von Measure (Quelle: Weißel u. a., 2007)

Die Software Measure (Weißel u. a., 2007) dient zur Aufnahme und Auswertung der mit Hilfe der Basis-Interfaces und der angeschlossenen Module und Sensoren gewonnenen Daten. Measure ist, ähnlich wie die Hardware des Messwerterfassungssystems, modularisiert aufgebaut: Das Hauptprogramm, das von der Firma Phywe kostenlos vertrieben wird ermöglicht die Auswertung, Eingabe von Daten und den Datenexport. Zur Erfassung von Messwerten müssen zusätzlich noch Software-Module installiert und freigeschaltet werden.

Zusammen mit Measure wird ein Kurzhandbuch (Phywe, 2007e, 7 Seiten) ausgeliefert, in dem die Grundfunktionen der Software beschrieben sind. Im Programm selbst ist zusätzlich eine kontextsensitive Onlinehilfe vorhanden. Ebenfalls zur Grundausstattung gehören knapp 100 Beispielerperimente zu den Themen-

gebieten der Physik, jeweils bestehend aus Versuchsbeschreibungen, Messkurven und voreingestellten Versuchsparametern.

2.1.2.3 Grundsätzliche Bedienung

Measure (Weißel u. a., 2007) ist mit einem Installationsprogramm ausgestattet, das über die Autostartfunktion beim Einlegen der CD startet (Phywe, 2007e). Der Benutzer wird durch die Installationsroutine, die auch manuell über die Datei *start.exe* im Wurzelverzeichnis der CD ausgeführt werden kann, geführt. Im Verlauf dieses Prozesses müssen auch die vorhandenen Softwaremodule installiert bzw. durch Eingabe der Seriennummer freigeschaltet werden.

Die Programmfunktionen von Measure sind in der auch von vielen anderen unter Windows genutzten Programmen bekannten Menüleiste zu finden, einige dieser Funktionen sind zusätzlich auch über Schaltflächen (in Measure „Schalter“ genannt) bzw. durch Kontextmenüs (über einen Rechtsklick mit der Maus auf die entsprechenden Elemente des Programmfensters) aufrufbar.



Abbildung 2.8: Bedienungselemente in Measure (Quelle: Weißel u. a., 2007)

Die Menüs beinhalten verschiedene Gruppen von Funktionen (Weißel u. a., 2007, Abbildung 2.8):

- Menü **Datei**: Hier hat der Benutzer neben den „üblichen“ Dateioperationen (Messung laden, speichern, schließen) auch die Möglichkeit, eine neue Messung zu starten, Beispielversuche zu laden, sowie die Messung zu drucken oder per E-Mail zu versenden.
- Im Menü **Messgerät** kann das für die Messung notwendige (Software-) Messmodul ausgewählt werden.
- Das Menü **Messung** ermöglicht die Konfiguration Darstellungsoption und die Beschriftung der Graphen bereits erfolgter Messungen. Ebenfalls kann

die Zuordnung zwischen Achsen und Messkanälen geändert werden. Zur Verfügung stehen auch Methoden zum Import, Export und zur Generierung von Messwerten (manuelle und grafische Erfassung sowie über einen Funktionsgenerator).

- Zur **Messauswertung** stehen im gleichnamigen Menü Werkzeuge zur Analyse (Peakanalyse, Kurvenanalyse, Anzeige von Mittelwert, Steigung, Integral, Extrema der Kurve, Fourieranalyse, Kurvenfitting und Abspielen von Messkurven) und Modifikation (Kanalumwandlung, Glättung, Mittelwertsbildung und Löschen) der Daten bereit. Weitere spezielle Funktionen erlauben es dem Benutzer die Halbwertszeit bzw. -dicke zu berechnen, die Messkurve in ein Häufigkeitsdiagramm umzuwandeln sowie Rechnungen für Kalorimetrie- und Röntgenspektroskopieversuche durchzuführen.
- Die Einträge im Menü **Fenster** erlauben es, verschieden (Messungs-) Fenster im Programm manuell oder automatisch zu positionieren, während im
- Menü **Hilfe** Verweise auf Handbuch (Phywe, 2007e) und Online-Hilfe, die Homepage der Firma Phywe und Informationen über das Programm selbst zu finden sind.

Die Schalter, die Zugriff auf ausgewählte Funktionen des Programmes gewährleisten, befinden sich auf 5 frei im Symbolleistenbereich (zwischen den Messfenstern und der Menüleiste) positionierbaren Symbolleisten. Die Bedeutungen der Schaltflächen sind jeweils von links nach rechts (Weißel u. a., 2007):

Allgemeine Befehle:



- Neue Messung mit dem aktuellen Messgerät erstellen
- Messung öffnen
- Messung speichern
- Messung drucken
- Messwerttabelle anzeigen

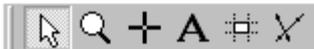
- Darstellungsoptionen öffnen
- letzte Aktion rückgängig machen (Undo)
- Onlinehilfe starten
- Versuchsdokumentation öffnen

Bereichsanzeige und Skalierung:



- Diagrammausschnitt nach links verschieben
- Diagrammausschnitt nach rechts verschieben
- Diagrammausschnitt nach oben verschieben
- Diagrammausschnitt nach unten verschieben
- Kurven ins Fenster einpassen
- Skalierung der Kurven

Maus-Modi:



- Pfeil (Auswahl von Kurven)
- Zoom
- Markieren
- Beschriftung
- Vermessen
- Regression

Analyse:



- Peakanalyse

- Kurvenanalyse
- Mittelwert anzeigen
- Steigung anzeigen
- Integral anzeigen
- Extrema anzeigen
- Äquivalenzpunkt anzeigen
- Kanalumwandlung
- Fourieranalyse
- Kurvenfitting
- Mittelwert bilden
- Kurven glätten
- Messwerte ausschneiden
- Messung abspielen

Kanalwahl:



- Legende einblenden/ausblenden
- Kanal 1 einblenden/ausblenden
- Kanal 2 einblenden/ausblenden
- ...

2.1.2.4 Die Aufnahme von Messwerten

Das System Cobra3/Measure unterstützt die automatische Erkennung von Modulen, allerdings sollte das Aufstecken oder Abziehen von Modulen nur bei abgeschaltetem Interface vorgenommen werden, andernfalls könnte ein Absturz sowohl des Systems als auch des Messprogrammes erfolgen (vgl. Phywe, 2007a). Zur

Aufnahme von Messwerten stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung: über die zum Sensor (bzw. zum Modul) gehörigen Softwaremodule und über das spezielle Softwaremodul „PowerGraph“.

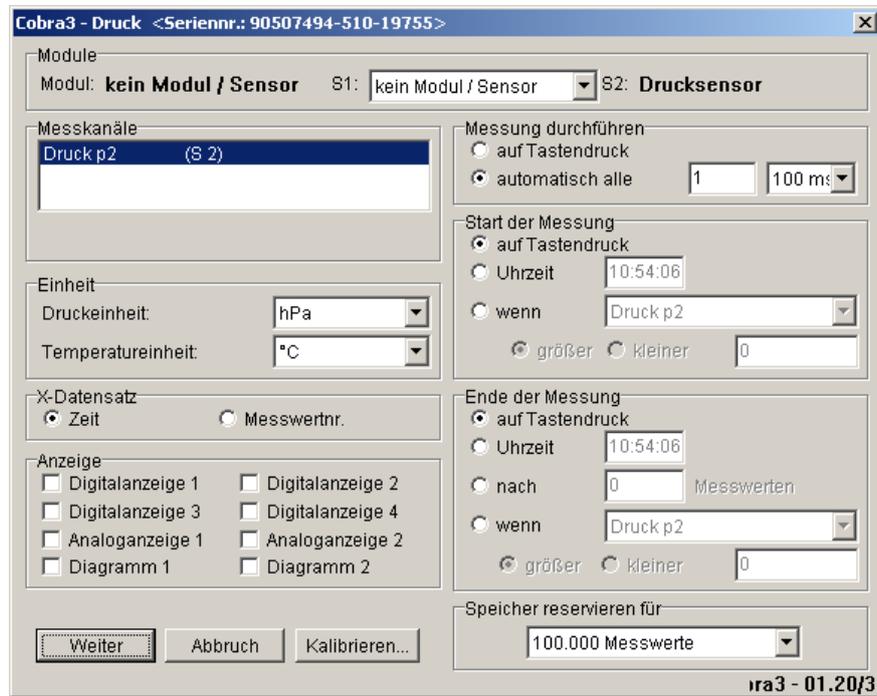


Abbildung 2.9: Messeinstellungen des Softwaremoduls Druck (Quelle: Weißel u. a., 2007)

Die Messgerät-Methode

Zu jedem Sensor oder Modul existieren ein oder mehrere Softwaremodule (s. Kapitel 2.2, in Measure auch „Messgerät“ genannt). Für eine Messung muss nach dem Anschließen der Messhardware an die BASIC-UNIT das passende Modul im Menü „Messgerät“ ausgewählt werden, welches dadurch zum aktuellen Messgerät wird. Gleichzeitig öffnet sich der (für jedes Softwaremodule unterschiedliche) Einstellungsdialog. Hier hat der Benutzer die Möglichkeit, die benutzen Sensoren – soweit nicht automatisch erkannt – auszuwählen. Weitere Einstellungsmöglichkeiten hängen vom verwendeten Messgerät (Softwaremodul) ab. Wiederkehrende Elemente sind dabei allerdings (siehe Abbildung 2.9) die Angabe der Einheit der zu messenden Größe, sowie die Auswahl des x-Datensatzes und der Anzeigen (digital, analog, Diagramm) während der Messwertaufnahme. Zusätzlich können die Sensoren kalibriert und sowohl Messfrequenz als auch die Bedingungen für Start

und Ende der Messung (Tastendruck, Zeittrigger oder Werttrigger) festgelegt werden. Die Option „Speicher reservieren für xx Messwerte“ kann bei Computersystemen mit sehr wenig Ressourcen helfen, Messabbrüche zu vermeiden.

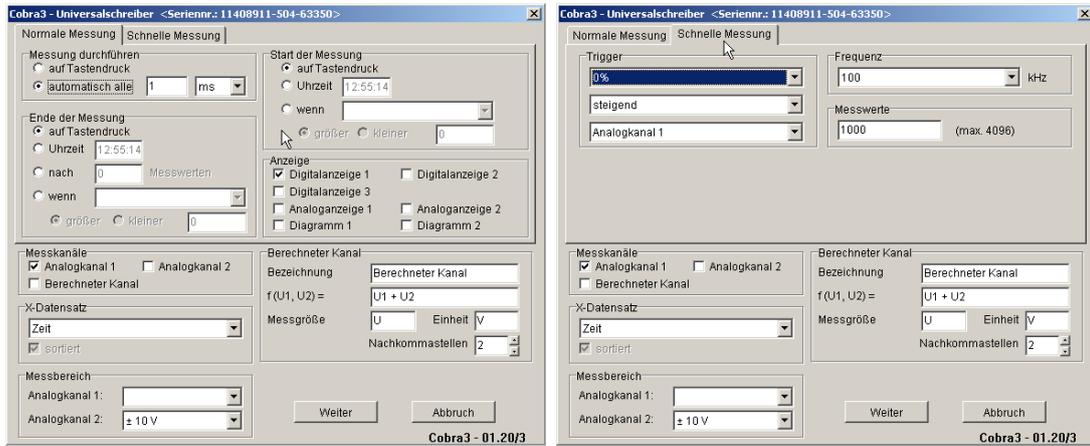


Abbildung 2.10: Messeinstellungen des Softwaremoduls Universalschreiber (Quelle: Weißel u. a., 2007)

Das Softwaremodul Universalschreiber beinhaltet noch weitere Funktionen: Neben der Messung der an Analogkanal 1 und/oder Analogkanal 2 anliegenden Spannungen (bzw., bei Benutzung der entsprechenden Sensoren, Ströme) kann hier aus den Eingangsgrößen eine weitere direkt berechnet werden („berechneter Kanal“). Auch ist es mit diesem Modul möglich, Messungen bei sehr hohen Messfrequenzen durchzuführen: im Modus „Normale Messung“ liegt die maximale Messfrequenz bei 1000 Hz, der Modus „Schnelle Messung“ erlaubt bis zu 100000 Messungen pro Sekunde. Allerdings werden bei diesem Verfahren die Messwerte nicht mehr schon während der Messung zum Computer übertragen, sondern zwischengespeichert und nach Beendigung der Messung als Datenpaket an den Rechner geschickt. Das begrenzt allerdings die Anzahl von Messwerten pro Messung auf maximal 4096 und entsprechend weniger, je nach Anzahl gemessener Kanäle und angeschlossener Sensoren. Für den Start der Messung kann ein Triggerlevel von 0%, $\pm 25\%$, $\pm 50\%$ oder $\pm 75\%$ des Messbereichsendwerts eingestellt werden, dabei wird entweder auf eine steigende oder fallende Signalflanke geprüft.

Einige Softwaremodule (z.B. Radioaktivität, Timer/Counter oder Translation/Rotation, siehe Abbildung 2.11) beinhalten sehr stark an die angeschlossenen Sensoren angepasste Einstellungsfenster.

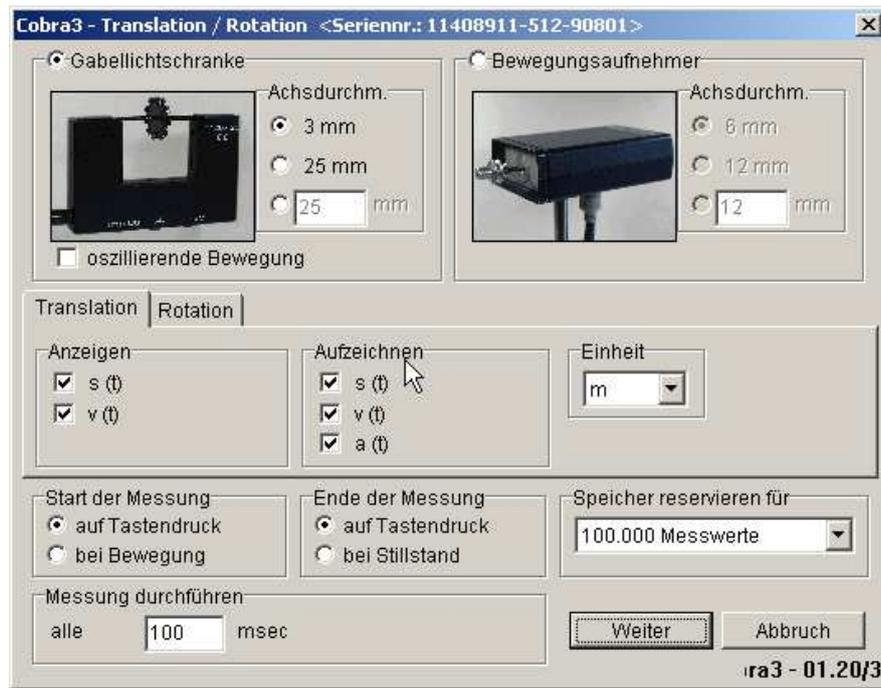


Abbildung 2.11: Messeinstellungen des Softwaremoduls

Translation/Rotation (Quelle: Weißel u. a., 2007)

Messen mit PowerGraph

Das Softwaremodul PowerGraph erlaubt die Nutzung fast aller UNITS, Module und Sensoren der Cobra3-Familie. Es können mehrere UNITS gleichzeitig konfiguriert und ausgelesen werden. Die angeschlossenen Geräte werden von der Software automatisch erkannt und graphisch dargestellt (s. Abbildung 2.12, links), können aber bei Bedarf auch manuell ausgewählt werden. Durch Anklicken können die Module und Sensoren konfiguriert werden; das schließt die Auswahl von Bezeichnung, Einheit und/oder Messbereich sowie bei einigen Sensoren die Möglichkeit der Kalibrierung mit ein. Messwerte können mit einer wählbaren „Stärke“ gemittelt werden.

Zusätzlich zur anschließbaren Messhardware erlaubt PowerGraph die Definition von maximal vier „Virtuellen Kanälen“, die entweder zur manuellen Eingabe oder zur automatischen Berechnung von Messwerten aus bis zu vier Quellkanälen dienen.

Auf der zweiten (s. Abbildung 2.12, Mitte) der drei Registrierkarten des PowerGraph-Fensters werden die aufzuzeichnenden Kanäle sowie die Start- und Endbedingungen festgelegt. Ähnlich zum Messgeräte-Verfahren kann die Triggerung

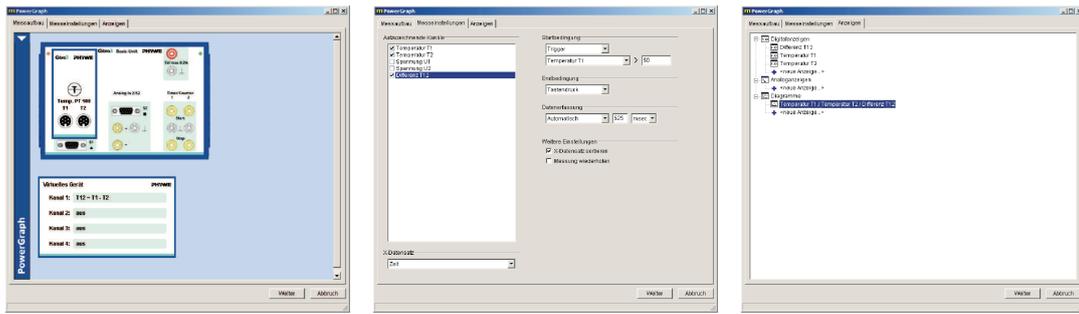


Abbildung 2.12: PowerGraph (Quelle: Weißel u. a., 2007)

auch hier durch Tastendruck, Uhrzeit oder das Erreichen eines wählbaren Messwertes bzw. der Anzahl der Messwerte erfolgen. Für die Datenerfassung stehen die Modi „Tastendruck“, „Automatisch“ und „(Werte-)Trigger“ zur Verfügung, wobei die maximale Messfrequenz durch die angeschlossenen Module und Sensoren bestimmt wird. Neben der Auswahl des x-Datensatzes der Messung findet sich auch eine Option zur automatischen Sortierung der x-Werte bzw. zum beliebigen Wiederholen der Messung.

Im dritten Reiter (s. Abbildung 2.12, rechts) kann der Benutzer schließlich noch einstellen, welche Messwerte während des Versuchs dargestellt werden (Digitalanzeige, Analoganzeige, Diagramm).

Durchführung der Messung

Über die Schaltfläche „Weiter“ gelangt man vom Einstellungsbereich der Messgeräte oder von PowerGraph zur Messdatenaufnahme. Dort werden die vorher ausgewählten Anzeigeeinstrumente dargestellt. Gestartet wird die Messung über

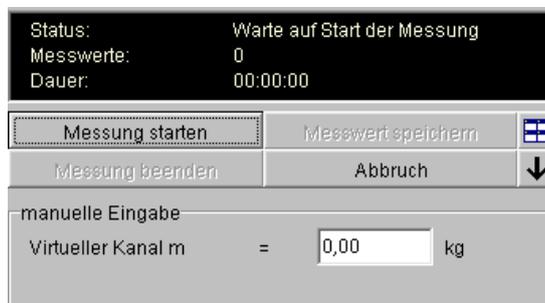


Abbildung 2.13: Starten einer Messung mit Measure (Quelle: Weißel u. a., 2007)

die entsprechende Schaltfläche im Messaufnahme Fenster (siehe Abbildung 2.13).

Ebenfalls können hier die Werte der eventuell mit PowerGraph definierten virtuellen Kanäle (manuelle Eingabe) eingegeben werden. Jeweils ein Schalter dient zur Aufnahme eines einzelnen Messwertes, zum Abbruch der Messung ohne das Speichern der Daten und zum Minimieren dieses Fensters sowie zum automatischen Anordnen der Anzeigeeinstrumente. Durch einen Klick auf „Messung beenden“ werden die aufgenommenen Messdaten gespeichert, das Fenster der Messdatenaufnahme (inklusive der Anzeigeeinstrumente) geschlossen und die Ergebnisse im Hauptfenster von Measure in einem neuen Diagramm dargestellt.

2.1.2.5 Darstellung und Auswertung von Messungen

Zur Analyse und Auswertung der Messdaten mit Measure stehen eine Anzahl von Funktionen zur Verfügung (Weißel u. a., 2007), die über das Menü Messauswertung bzw. die Schaltflächen der Symbolleiste erreichbar sind (siehe Kapitel 2.1.2.3).

- **Pfeil.**

Mit dem Werkzeug (bzw. Maus-Modus) „Pfeil“ hat der Benutzer die Möglichkeit, die zu einem Punkt des Graphen gehörenden Messwerte anzuzeigen (Linksklick). Über einen Klick mit der rechten Maustaste lässt sich (wie in allen Maus-Modi) die Wertetabelle bzw. das Fenster zum Einstellen der Darstellungsoptionen öffnen.

- **Zoom.**

Durch Klicken und Ziehen mit der linken Maustaste kann ein Bereich zur Vergrößerung markiert werden. Die rechte Maustaste erlaubt die bildformatfüllende Darstellung der Kurve bzw. das schrittweise Herauszoomen.

- **Markierung.**

Mit Hilfe dieser Funktion wird der Bereich der Messkurve markiert, der im weiteren Verlauf als Datenbasis für die Auswertungs- und Manipulationsfunktionen dienen soll.

- **Beschriftung.**

In diesem Modus öffnet ein Klick mit der linken Maustaste das Beschriftungen-Fenster und legt eine neue Beschriftung an der Position des Klicks an. Diese

einer Kategorie zuordenbare Markierung kann nur aus Text bestehen oder mit einem Symbol oder einer Sekrechten bzw. waagerechten Linie versehen werden, wobei sowohl Farbe als auch Textausrichtung wählbar sind. Einzelne Beschriftungselemente können auch im nachhinein bearbeitet werden, ein Rechtsklick in das Diagramm öffnet das entsprechende Fenster.

- **Vermessen.**

Zum Vermessen von Abständen innerhalb des Diagrammes kann das bei Aktivierung dieser Funktion erscheinende Rechteck durch Verschieben der mit „1“ und „2“ bezeichneten Eckpunkte frei platziert werden. Dabei werden die Koordinaten dieser Punkte und deren Abstände in x- und y-Richtung angezeigt.

- **Regression.**

Der Maus-Modus Regression erlaubt das Anpassen von bis zu drei Regressionsgeraden an eine einkanalige Messung. Das Regressionsintervall wird dabei durch das Verschieben der eingeblendeten kleinen Quadrate bestimmt. Es werden die Geradengleichungen und die möglichen Schnittpunkte dieser Geraden angezeigt.

- **Peakanalyse.**

Diese Funktion gibt die Werte für Peaks (Eintritt, Austritt, Maximum, Höhe, Fläche) eines selektierten y-Kanals in Abhängigkeit einer wählbaren Fehlertoleranz aus. Die Ergebnisse können im Diagramm angezeigt und/oder zur Weiterverarbeitung in anderen Programmen kopiert werden.

- **Kurvenanalyse.**

Mit diesem Befehl kann der Anwender die Lage der lokalen Extrema bzw. die Nullstellen des durch die Messwerte definierten Graphen bestimmen. Auch hier kann eine Fehlertoleranz eingestellt, die Werte ins Diagramm eingetragen und die Ergebnisse in die Zwischenablage kopiert werden.

- **Mittelwert anzeigen.**

Der Mittelwert des aktiven Kanals im markierten Bereich wird angezeigt. Ist keine Bereichsmarkierung gewählt, wird der gesamte Kanal als Datenbasis

genutzt.

- **Steigung anzeigen.**

Gibt die Steigung einer durch die Kurve bzw. den markierten Bereich gelegten Regressionsgeraden aus.

- **Integral anzeigen.**

Diese Funktion berechnet das bestimmte Integral der Kurve oder des markierten Bereichs. Sind sowohl der linken als auch der rechten y-Achse Kanäle zugeordnet, so werden die Integrale beider Kanäle und ihre Differenz angezeigt.

- **Extrema anzeigen.**

Globale Extremwerte (für den markierten Bereich oder für den gesamten Kanal) können sowohl angezeigt als auch als Beschriftung zum Diagramm hinzugefügt werden.

- **Äquivalenzpunkt anzeigen.**

Hier werden die Äquivalenzpunkte und der pKs-Wert für entweder den der linken oder der rechten y-Achse zugeordneten Kanal ermittelt und bei Bedarf in das Diagramm eingetragen.

- **Kanalumwandlung.**

Bis zu vier vorhandene Kanäle können umgewandelt werden. Dabei stehen als Methode Integration, Differentiation, fortschreitende Mittelwertbildung und die Eingabe frei definierbarer Funktionen zur Verfügung. Der so entstehende neue Kanal kann mit beliebiger Beschriftung und Einheit versehen und als neuer Kanal der Messung oder als neue Messung hinzugefügt werden bzw. einen beliebigen der Quellkanäle überschreiben.

- **Fourieranalyse.**

Diese Funktion bietet sowohl die Möglichkeit einer Fourieranalyse als auch einer Signalsynthese.

- **Kurvenfitting.**

Für ein Fitting können sowohl vorgegebene als auch frei eingegebene Funktionen mit bis zu sechs Parametern verwendet werden. Als weitere Angaben

sind dazu noch der maximale relative Fehler, die maximale Anzahl von Iterationsschritten und der zu untersuchende Kanal nötig.

- **Mittelwert bilden.**

Der Mittelwert der markierten Messwerte (des gesamten Kanals bei fehlender Markierung) wird gebildet. Mit dem Ergebnis (wahlweise für die linke Achse, die rechte Achse oder alle Kanäle) können die vorhandenen Kanäle überschrieben werden, alternativ erfolgt die Ausgabe in einen neuen Kanal in die bestehende bzw. in eine neue Messung.

- **Kurven glätten.**

Eine Glättung der ausgewählten Kanäle (vgl. „Mittelwert bilden“) wird durchgeführt. Auch hier ist stehen als Ausgabeoptionen „neu hinzufügen“, „überschreiben“ und „in neue Messung“ zur Verfügung.

- **Messwerte ausschneiden.**

Dieser Befehl löscht die vorher markierten Messwerte.

- **Messung abspielen.**

Besitzt der Computer eine Soundkarte, so können die Messdaten bei vorgegebener Qualität (8 bit oder 16 bit) und Abspielgeschwindigkeit (11,025 kHz, 22,05 kHz oder 44,1 kHz) über diese ausgegeben werden.

- **Halbwertszeit/-schichtdicke anzeigen.**

Entstammen die Messdaten einer Messung zur Radioaktivität, so automatisiert diese Funktion die Berechnung der Halbwertszeit bzw. der Halbwertschichtdicke.

- **Intervallauftragung.**

Die Intervallauftragung wandelt eine Messkurve in ein Häufigkeitsdiagramm um. Dabei wird gezählt, wie häufig Messpunkte in bestimmte y-Intervallen liegen; die Breite dieser Intervalle legt der Benutzer durch eine absolute Angabe oder durch die Festlegung der Anzahl fest.

2.1.3 CoachLab II⁺/Coach 6

2.1.3.1 Hardware



Abbildung 2.14: CoachLab II⁺
(Quelle: www.nt1.de)

Das Messinterface CoachLab II⁺ stellt 4 analoge und 2 digitale Eingänge zur Verfügung (Mioduszewska und Dorenbos, 2005). Im Gegensatz zu anderen Messwerterfassungssystemen werden bei diesem System keine Sensorboxen oder ähnliche Module verwendet, sämtliche neben dem Interface benötigte Messhardware ist immer direkt in die Sensoren integriert. Die maximale Messrate beträgt 100 kHz,

verringert sich jedoch je nach Art und Anzahl der angeschlossenen Sensoren (siehe Tabelle 2.3). Der Anschluss von gleichzeitig maximal sechs verschiedene Sensoren erfolgt über British-Telecom (BT) Telefonstecker (jeweils 2 für analoge und digitale Sensoren) bzw. 4mm-Steckverbindungen für ältere analoge Sensoren. Mittels eines Adapters können aber auch BT-Sensoren verwendet werden. Direkt verwendbar sind neben den „originalen“ CMA-Sensoren (siehe Tabelle 2.4) auch Sensoren der Firmen Vernier und Texas Instruments mit passenden Anschlussmöglichkeiten sowie auch Sensoren anderer Hersteller, wenn ein entsprechender Adapter vorhanden ist. Alle analogen Eingänge können auch als Zähler genutzt werden. Der interne Speicher des Interfaces ist 128 KB groß und ermöglicht die Zwischenspeicherung von bis zu 64000 Messwerten.

Number of inputs used	Maximum sample rate
One analog input	100 kHz
Two analog inputs	50 kHz
Three analog inputs	3.3 kHz
Four analog inputs	2.5 kHz
One counter	10 kHz sampling; 5 kHz max. signal frequency
Two counters	
One counter + one analog input	10 kHz
One motion detector	50 Hz
Two motion detectors	25 Hz
One motion detector + analog input(s)	50 Hz
One motion detector + counter input(s)	not possible

Tabelle 2.3: Maximale Messfrequenzen mit CoachLab II⁺ (Quelle: Mioduszewska und Dorenbos, 2005)

Kapitel 2 Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme

Zusätzlich verfügt CoachLab II⁺ über 4 Ausgänge zum Anschluss von Steuerelementen. Die Ausgänge liefern eine Spannung von 12 V, die durch Pulsweitenmodulation (Frequenz: 625 Hz) in 16 Spannungsstufen variiert werden kann. Dabei liegt der maximale Strom bei 0,6 A pro Kanal bzw. 1,2 A insgesamt.

CoachLab II⁺ wird über die USB-Schnittstelle an den Computer angeschlossen. Voraussetzung für die Nutzung des Interfaces ist die Software Coach (mindestens Coach 5 ab Version 2.4), alternativ kann aber auch eigene Software (z.B. für LabView oder Java, siehe Mioduszewska und Dorenbos, 2005) entwickelt werden.

2.1.3.2 Software

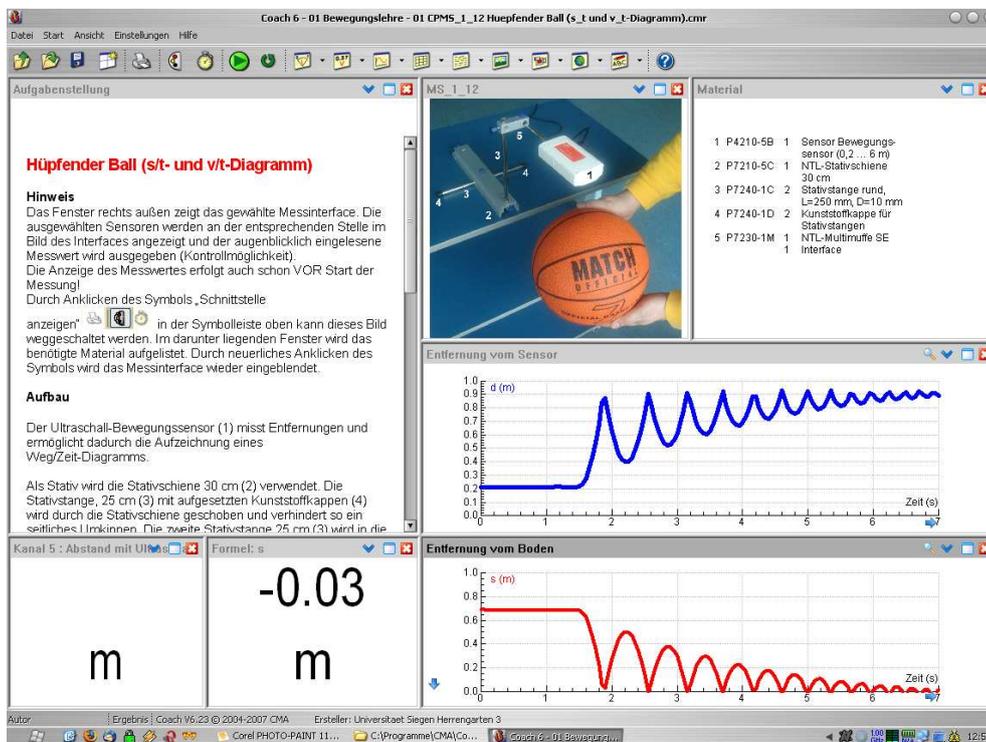


Abbildung 2.15: Messwerterfassung mit Coach 6 (Quelle: Coach6, 2007)

Coach 6 (Coach6, 2007) ist ein an der Universität von Amsterdam (Amstel Institute/CMA) entwickeltes Lern- und Autorensystem (Kędzierska u. a., 2007) mit integrierter Messwerterfassung und -auswertung. Unterstützt wird ein Reihe von Hardware verschiedener Hersteller, z.B.

- CMA CoachLab I, CoachLab II/II⁺ and ULAB,
- Texas Instruments CBL, CBL2TM and CBRTM,

Nr.	CMA Sensors	Type
13	Angle sensor (0 .. 240°)	
0135i	Thermocouple (with two ranges -20 .. 110 °C and -200 .. 1300 °C)	Intelligent
14	Light sensor (0 .. 200 lx)	
0141i	Light sensor (0 .. 10 lx)	Intelligent
0142i	Light sensor (0 .. 200 lx)	Intelligent
0143i	Light sensor (0 .. 150 klx)	Intelligent
15	Sound sensor (-5 .. 5 Pa)	
16	Temperature sensor (-18 - 110 °C)	
017i	Sound sensor (-45 .. 45 Pa)	Intelligent
0210i	Differential Voltage sensor (-10 .. +10 V)	Intelligent
0212i	Differential Voltage sensor (-500 .. +500 mV)	Intelligent
0221i	Differential Current sensor (-5 .. +5 A)	Intelligent
0222i	Differential Current sensor (-500 .. +500 mA)	Intelligent
023i	Pressure sensor (0.. 7 bar)	Intelligent
24	Magnetic Field sensor (-100 .. 500 mT and -10 .. 50 mT)	
025i	Relative Humidity sensor (0 .. 100%)	Intelligent
0265i	Oxygen Gas Sensor (0 .. 100 %)	Intelligent
0266i	Dissolved Oxygen Sensor (for liquids) (0.. 14 mg/l)	Intelligent
027i	Heart-rate Sensor (with ear clip) (0 .. 100 %)	Intelligent
28	EKG-set in combination with light sensor (014 or 142i)	
29	Geiger-Müller Ionizing radiation sensor (for beta and gamma radiation)	
030i + 31	Ph-sensor (ph amplifier 030i + pH electrode 031) (0 .. 14 pH)	Intelligent
0313i	ORP Sensor (-450 mV .. 1100 mV)	Intelligent
32	Baro sensor (0-1100 mbar)	Intelligent
33	Light sensor with 3 ranges (0-600, 0-6000, 0-150000 lx)	Intelligent
341	Gas Pressure sensor (0-210 kPa)	Intelligent
35	Thermocouple temperature sensor (-30 - +1400 °C)	Auto-id
3517	Motion Detector (0.4 .. 6 m)	Auto-id
357	CO2 sensor (0 .. 5000 ppm)	Intelligent
358	Colorimeter (red, green, blue)	
0361i	Charge sensor	Intelligent
362	Force sensor with two ranges (s5N and s50N)	
0377i	Blood Pressure Sensor	Intelligent
37	Heartbeat sensor (0 .. 100%)	
375	Exercises Heart Monitor sensor	Intelligent
376	Dissolved Oxygen sensor (0 .. 14 mg/l)	Intelligent
381	Relative Humidity sensor (0 .. 100%)	
382	Conductivity sensor (0 .. 200 µS, 0 .. 2000 µS, 0 .. 20000 µS)	Intelligent
384	Current sensor (-0.8 .. 0.6 mA) (I/V set)	Auto-id
384	Voltage sensor (-8 .. 6 V) (I/V set)	Auto-id
385	Low g accelerometer (± 5 g)	
386	Smart Pulley (includes of photogate)	
0387i	Flow Rate Sensor (0 .. 4.0 m/s)	Intelligent
0391NH4	Ammonium (NH ₄ ⁺) electrode with integrated amplifier	Intelligent
0391Ca	Calcium (Ca ²⁺) electrode with integrated amplifier	Intelligent
0391Cl	Chloride (Cl ⁻) electrode with integrated amplifier	Intelligent
0391NO3	Nitrate (NO ₃ ⁻) electrode with integrated amplifier	Intelligent
511	Temperature sensor (-20 - 125 °C)	Auto-id
513	Light sensor (0 .. 10 W/m ²)	Auto-id
515	Voltage sensor (-10.. 10 V)	Auto-id
0661i	CO2 sensor (0 .. 5000 ppm)	Intelligent

Tabelle 2.4: CMA-Sensoren für CoachLab II⁺ (Quelle: Mioduszevska und Dorenbos, 2005)

- Vernier LabPro™,
- LEGO DACTA®Control Interface and RCX™.

Ebenfalls in die Software integriert sind Umgebungen zum Steuern von Systemen, die Analyse von Einzelbildern oder Filmen und zur Modellbildung.

Coach 6 läuft auf Computern mit Microsoft Windows ab der Version 98.

Sowohl Coach 6 als auch CoachLab II⁺ werden mit Handbuch ausgeliefert (Kędzierska u. a. (2007), 206 Seiten bzw. Mioduszevska und Dorenbos (2005), 27 Seiten). Das gedruckte Handbuch, ebenso wie die kontextsensitive Onlinehilfe des Programmes, ist zur Zeit allerdings nur in englischer Sprache erhältlich, eine erste deutschsprachige Version des Handbuches kann nachträglich kostenlos von der Webseite des für Deutschland zuständigen Lieferanten geladen werden (www.nt1.de). Im (im deutschsprachigen Raum vertriebenen) Programmpaket sind ca. 50 Beispielversuche („Aktivitäten“) enthalten.

2.1.3.3 Grundsätzliche Bedienung

Die Installation von Coach 6 erfolgt über eine Installationsroutine, die durch Ausführen der Datei setup.exe gestartet wird (Coach6, 2008). Während des Installationsverlaufs wird der Benutzer zur Eingabe des Freischaltcodes² und gegebenenfalls zum Neustarten des Computers aufgefordert.

Als Autorensystem³ kennt Coach 3 Benutzergruppen (englisch: User levels):

- Schüler (englisch: Junior student),
- Schüler plus (Senior student) und
- Autor (Author).

Nur der Autor hat die Möglichkeit, Aktivitäten zu erstellen oder zu verändern. Aktivitäten sind Umgebungen in denen die Arbeit der Schüler stattfindet. Sie enthalten die Experimente und zugehörige Materialien, von Texten über Videos oder

²Ohne Eingabe des Codes wird die Lite-Version installiert, bei der die Bereiche Modellbildung und Videoanalyse nicht unterstützt werden.

³Ein Autorensystem dient zur Erstellung von multimedialen Lernangeboten mit wenig oder gar keinen Programmierkenntnissen

Webseiten bis hin zu Einstellungen für Versuch und Auswertung. Es gibt vier Typen von Aktivitäten: „Messung“, „Steuern“, „Modellbildung“ und „Videoanalyse“. Mehrere Aktivitäten lassen sich zu einem Projekt zusammenfassen. Projekte und Aktivitäten können einer Benutzergruppe zugeordnet werden, wobei die Gruppe „Schüler“ in drei Modi (unveränderlich, anpassbar, eigener Aufbau) unterteilt ist (Coach6, 2008). Diese Zuordnung entscheidet, auf wie viele Funktionen des Programmes der Benutzer Zugriff hat. Dabei ist der Modus „Schüler, unveränderlich“ am strengsten eingeschränkt, während der „Schüler plus“ alle Funktionen verwenden kann, nur das Ändern von Texten bzw. das Entfernen von durch den Autor hinzugefügten Elementen wird verhindert.



Abbildung 2.16: Die Haupt-Symbolleiste in Coach 6 (Quelle: Coach6, 2007)

Die Steuerung der Programmfunktionen in Coach 6 erfolgt sowohl über Menüs, als auch über Schaltflächen sowie kontextsensitive Menüs (Klick mit der rechten Maustaste). Für einige Befehle sind auch Tastenkombinationen verfügbar (siehe Tabelle 2.5). Die tatsächlich zur Verfügung stehenden Funktionen richten sich nach Benutzergruppe bzw. Modus.

Tastenkombination	Befehl
<Ctrl>+<O> oder <F3>	Öffnen...
<Ctrl>+<N>	Neu...
<Ctrl>+<S> oder <F2>	Speichern
<Ctrl>+<W>	Schließen
<Ctrl>+<P>	Drucken
<F1>	Hilfe
<F9>	Start (Grüne Schaltfläche)
<Ctrl>+<F9>	Start > Ausführen im Schnellmodus
<Shift>+<F9>	Start > Ausführen und Löschen aller Werte
<Ctrl>+<Z>	Rückgängigmachen der letzten Aktion (in einer Tabelle wird auch der letzte Prozess rückgängig gemacht).
<Ctrl>+<A>	Alles auswählen
<Esc>	Abbrechen einer Aktion

Tabelle 2.5: Kurzbefehle in Coach 6 (Quelle: Coach6, 2008)

Ist keine Aktivität geöffnet, sind für den Autor 4 Menüs erreichbar (Coach6,

2007):

- Im Menü **Datei** können Aktivitäten geladen oder erstellt sowie Projekte verwaltet werden. Hier kann auch der „User level“ (Benutzergruppe) festgelegt werden.
- Unter **Werkzeuge** befinden sich neben Editoren für Steuerelemente und Sensoren auch die Einstellungsmöglichkeiten für das Autorenpasswort und die Sprache. Auch die Konfiguration der Starteinstellung sowie die Installation neuer Hardware (Interfaces) ist hier möglich.
- In **Optionen** wählt der Autor die Ansicht (als Benutzergruppe bzw. Autor) und aktiviert oder deaktiviert die Hardware, während
- im Menü **Hilfe** Links zu den verschiedenen Hilfedateien und dem Webangebot der Firma CMA zu finden sind.

Einige dieser Funktionen sind auch über die zugehörige Symbolleiste zu bedienen (siehe Abbildung 2.16, von links nach rechts):

- Beenden von Coach.
- Öffnen einer Aktivität/eines Projektes.
- Erstellen einer neuen Aktivität.
- Installation von Hardwaretreibern.
- Anmelden (Wechseln der Benutzergruppe).
- Aufrufen der Onlinehilfe.

Sowohl die Menü- als auch die Symbolleiste ändern sich, wenn eine Aktivität geöffnet ist:

- Zusätzlich zu den Dateioperationen (Aktivität /Projekt öffnen, speichern, erstellen, schließen) kommen im Menü **Datei** Einträge zum Drucken bzw. Einstellung des Druckers sowie zur Entfernung von Hintergrundkurven hinzu.

- Messungen können unter **Start** gestartet oder wiedergegeben werden.
- Im Menü **Ansicht** werden sowohl Anzahl und Anordnung als auch die Inhalte der Fenster gewählt.
- **Einstellung** zur Aktivität und zur Messung können im gleichnamigen Menü getätigt werden; dieser Punkt enthält auch die Elemente des Optionen-Menüs (siehe oben), während
- der Bereich **Hilfe** identisch bleibt.



Abbildung 2.17: Die Aktivitäten-Symbolleiste in Coach 6 (Quelle: Coach6, 2007)

Auch die Aktivitäten-Symbolleiste (siehe Abbildung 2.17) bietet Zugriff auf eine Reihe von Funktionen:

- Aktivität verlassen;
- Aktivität/Projekt öffnen;
- Aktivität/Resultat speichern;
- eine neue Aktivität erstellen;
- den gesamten Bildschirminhalte ausdrucken;
- Schnittstellen-, Programm-, Modell-, Videofenster anzeigen/verbergen (abhängig vom Typ der Aktivität)
- das Einstellungsfenster öffnen;
- Messung, Programm, Modellberechnung oder Videoanalyse starten;
- laufende Aktion stoppen;
- Messung, Programm, Modellberechnung oder Videoanalyse wiedergeben;
- ein Messgerät in ein Fenster einfügen bzw. dessen Einstellungen editieren;

- einen Messwert in ein Fenster einfügen bzw. dessen Einstellungen editieren;
- ein Diagramm in ein Fenster einfügen bzw. dessen Einstellungen editieren;
- eine Tabelle in ein Fenster einfügen bzw. dessen Einstellungen editieren;
- einen Text in ein Fenster einfügen bzw. dessen Einstellungen editieren;
- ein Bild in ein Fenster einfügen bzw. dessen Einstellungen editieren;
- ein Video in ein Fenster einfügen bzw. dessen Einstellungen editieren;
- eine Webseite in ein Fenster einfügen bzw. dessen Einstellungen editieren;
- einen Schülertext in ein Fenster einfügen bzw. dessen Einstellungen editieren;
- die Onlinehilfe aufrufen.

2.1.3.4 Die Aufnahme von Messwerten

Das Messwerterfassungssystem CoachLab II⁺/Coach 6 unterstützt die automatische Erkennung von Sensoren an den BT-Eingängen (Mioduszewska und Dorenbos, 2005). Dabei wird zwischen intelligent- und Auto-id-Sensoren unterschieden (siehe auch Tabelle 2.4). Während der Auto-id-Sensor lediglich Daten zur Identifikation an das Interface und die Software weitergibt, übertragen die mit einem Speicherchip ausgestatteten intelligenten Sensoren neben dem Namen auch Messgröße, Einheit und Kalibrierungsinformationen. Das Interface (CoachLab II⁺)

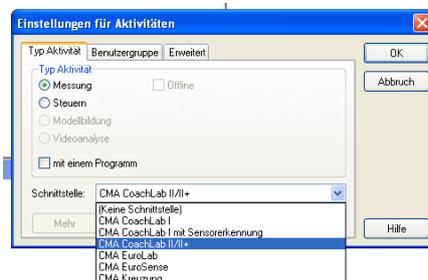


Abbildung 2.18: Coach 6:
Einstellungen für Aktivitäten
(Quelle: Coach6, 2007)

selbst muss allerdings manuell in den „Einstellungen für Aktivitäten“ (siehe Abbildung 2.18) ausgewählt werden.

Die aktuelle Sensoren-Konfiguration von CoachLab II⁺ wird im Schnittstellenfenster dargestellt (siehe Abbildung 2.19), dabei zeigen Symbole, an welchem Eingang (Ausgang) welche Art Sensor (Steuerelement) genutzt wird. In CoachLab Aktivitäten mit CoachLab II⁺ werden zwei Arten von Sensor-Symbolen unterschieden:

- **Normale** Sensoren-Symbole (grün eingefärbt) können vom Benutzer aus einer Bibliothek ausgewählt oder selbst definiert und auf dem Interface bzw. der Sensor-Palette links im Fenster platziert werden. Sensoren sind (ebenso wie Steuerelemente) per Drag'n'Drop aus der Palette auf die Eingänge der Schnittstelle verschiebbar.
- **Erkannte** Sensoren-Symbole (orange eingefärbt) repräsentieren vom System automatisch erkannte Sensoren auf dem entsprechenden Eingang.

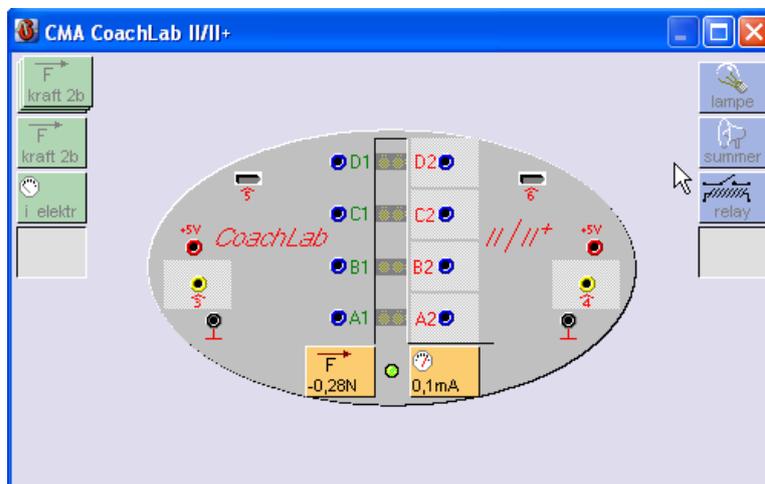


Abbildung 2.19: Coach 6: Schnittstellenfenster (Quelle: Coach6, 2007)

Die Art des Sensor-Symbols definiert auch die Breite der Einstellungen, die für den korrespondierenden Eingang festgelegt werden können. Wird ein Sensor automatisch erkannt (orange Symbol) so arbeitet das System fest mit den aus dem Chip oder der Sensor-Bibliothek ausgelesenen Standardeinstellungen. Sollen diese verändert werden, so muss der Benutzer das entsprechende Piktogramm

durch ein „normales“ aus der Sensor-Palette ersetzen. Dann können neben Bezeichnungen (bestehend aus Lang- und Kurznamen, Art, Kategorie und Symbol) auch der Signaltyp („Analog“, „Vorwärtszähler“, „Vorwärts/Rückwärts“, „Digital“ einschließlich des Eingabebereiches) und der Bereich Skala/Abbildung (Minimum und Maximum der Skalierung, angezeigte Nachkommastellen, Messgröße und Einheit sowie das Aussehen bei der Darstellung als Messinstrument) definiert werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit der Kalibrierung des Sensorsignals, wobei eine lineare, quadratische oder durch vorgegebenen Werte bestimmte Kalibrierung möglich ist.

Alle Einstellungen für Sensor-Eingänge können über einen Rechtsklick auf das entsprechende Piktogramm erfolgen. Das so geöffnete Kontextmenü bietet neben dem Zugriff auf die Sensoreigenschaften auch die Möglichkeit, alternative Sensoren für diesen Eingang auszuwählen und diese zu „vervielfältigen“ oder zu löschen. Ebenso kann hier eine Definition des Sensors als Zähler erfolgen sowie der Nullpunkt verschoben werden. Über weitere Einträge lassen sich das Sensor-Piktogramm fixieren sowie die Art für die Anzeige der Messwerte festlegen.

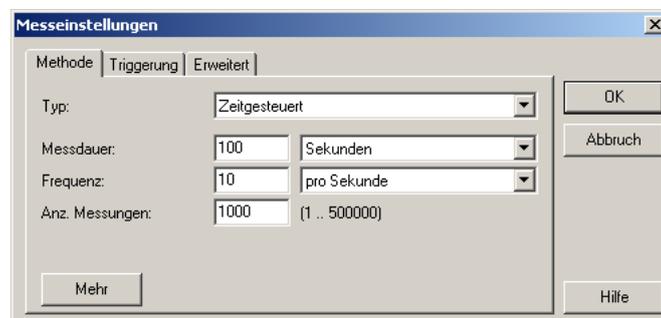


Abbildung 2.20: Coach 6: Messeinstellungsfenster
(Quelle: Coach6, 2007)

Die Messeinstellungen können über die entsprechende Schaltfläche bzw. den Eintrag im gleichnamigen Menü geöffnet werden. Es stehen drei Typen von Messungen zur Verfügung: zeitgesteuerte, ereignisgesteuerte und manuelle Messung. Für eine zeitgesteuerte Messung können in den drei Tabs („Registrierkarten“) des Fensters neben Messdauer, Frequenz bzw. Gesamtzahl der Messwerte auch die Parameter für eine Triggerung (Triggerkanal und -level, Richtung und Vortriggerzeit) bestimmt werden. Eine ereignisgesteuerte Messung benötigt zur Durch-

führung mindestens einen als Eingang definierten Zähler, der als Ereignisquelle definiert wird. Die anzugebene maximale Anzahl der Messungen beschränkt die Dauer der Messwerterfassung, alternativ dient hier auch eine vorgegebene Zeitspanne als Kriterium. Für beide Typen der automatischen Erfassung von Messdaten lässt sich eine beliebige Anzahl von Wiederholungen – wahlweise mit oder ohne Verzögerung – einstellen. Eine manuelle Messung kann auf verschiedene, untereinander frei kombinierbare Arten geschehen:

- Messung mit Sensoren: die Werte der aktuell angeschlossenen Sensoren werden bei einem Klick auf die Schaltflächen „Start“, bzw. „Einzelschritt von Hand“ ausgelesen.
- Manuelle Eingabe: die Werte einer oder mehrerer Größen können über die Tastatur eingegeben werden.
- Messung mit Zähler: beim Klicken der Start-Schalfläche(n) wird die Zählung von Impulsen an einem entsprechenden Eingang ausgelöst, beendet wird diese durch Klick auf „Stopp“ bzw. durch Angabe einer Zeitdauer.

Coach 6 bietet neben der Aufnahme der Messdaten auch die Möglichkeit, ein Video synchron zum Experiment aufzunehmen. Dafür muss eine Kamera an den Computer angeschlossen sein, deren Signal über die entsprechende Schaltfläche der Aktivitäten-Symbolleiste (siehe Kapitel 2.1.3.3) in einem Coach-Fenster ausgegeben werden kann. Über einen Rechtsklick mit der Maus in diesen Bereich können die notwendigen Einstellungen für z.B. Bildrate und -größe vorgenommen sowie die „Synchrone Aufnahme“ aktiviert werden.

Gestartet wird die Messung entweder über das Menü „Start“ oder über die Schaltfläche der Aktivitäten-Symbolleiste. Eine weitere Alternative dazu ist das Drücken der Taste F9. Durch gleichzeitiges Festhalten der Tasten „Umschalt“ und „STRG“ können mit dem Beginn der Messung alle alten Werte gelöscht oder die Messung im „Quick-Modus“ ohne Echtzeit-Anzeige der Messwerte durchgeführt werden.

2.1.3.5 Darstellung und Auswertung von Messungen

Zur Auswertung und Darstellung von Messungen stehen eine Reihe von Funktionen zur Verfügung, die über die Symbolleiste, hauptsächlich aber durch das Kontextmenü von Diagramm- bzw. Tabellenfenstern erreichbar sind (Coach6, 2007, 2008):

- **Als Diagramm/Tabelle anzeigen.**

Mit diesem Befehl kann die Messwerttabelle zum Diagramm bzw. das Diagramm zur Tabelle in einem beliebigen Fenster angezeigt werden.

- **Ausschnitt anpassen.**

Der Zoomfaktor des Diagramms wird so eingestellt, dass der komplette (genutzte) Wertebereich sichtbar wird.

- **Ausschnitt enger/weiter.**

Verkleinert oder vergrößert den angezeigten Ausschnitt des Diagramms.

- **Werte ablesen.**

Nach Auswahl dieser Funktion werden die Werte der Graphen im Diagramm an der aktuellen Cursorposition angezeigt.

- **Alle Werte entfernen.**

Löscht alle Werte aus Tabellen und Diagrammen.

- **Graph skizzieren.**

Eine Aktivierung dieser Option verwandelt den Cursor in ein Zeichenwerkzeug, das freie Skizzen im Diagramm erlaubt.

- **Skizze in Tabelle umwandeln.**

Dieser Befehl erzeugt aus einer Skizze eine Tabelle.

- **Skizzierung beenden/entfernen.**

Beendet den Skizzierungs-Modus bzw. entfernt eine Skizze aus dem Diagramm.

- **Diagramm/Tabelle einfügen/bearbeiten.**

Durch einen Mausklick auf diesen Eintrag öffnet sich ein Dialogfenster zum

Erstellen und Bearbeiten von Tabellen bzw. Diagrammen. Der Benutzer hat die Möglichkeit bis zu 8 Datenreihen darzustellen. Die Werte einer Datenreihe können aus verschiedenen Quellen gewählt werden:

- Eingabe von Hand,
- Formel (Berechnung einer neuen Größe aus vorhandenen Messdaten),
- Zeilennummer,
- äquidistante Daten in einem anzugebenden Intervall,
- Stoppuhr (Zeit) und
- Messdaten der Kanäle 1 bis 6.

Zur Unterstützung der Eingabe von Formeln steht ein Formeleditor zur Verfügung. Der Name der Messgröße, die Einheit und die Anzahl der Nachkommastellen sind frei veränderbar.

Für die Darstellung der Messreihen im Diagramm bzw. der Tabellen existieren verschiedene Optionen:

- Waagrecht: Zuweisung der Datenreihe zur x-Achse.
- Senkrecht links: Zuweisung der Datenreihe zur linken y-Achse.
- Senkrecht rechts: Zuweisung der Datenreihe zur rechten y-Achse.
- Unsichtbar: Datenreihe ausblenden
- Name: Bezeichnung des Graphen/der Spalte.
- Zeilennummern: Anzeige der Zeilennummern.
- Buchstaben anzeigen: Einblenden der Spaltenbezeichnung (C1 - C8).
- Gitternetz zeichnen.
- Achsen gleich skaliert.

- **Schriftart.**

Die Schriftart, -größe und -farbe der Tabelle kann angepasst werden.

- **Diagrammeigenschaften.**

Dieser Menüpunkt dient zur Formatierung des Graphen (Linienart, -farbe, -dicke, Art des Symbols für einzelne Messwerte, Gitternetz).

- **Anmerkung hinzufügen.**

Fügt dem Diagramm einen Text hinzu.

- **Hintergrundgraph importieren/verschieben/entfernen.**

Messwerte aus früheren Messungen mit Coach können importiert, beliebig als Hintergrund im Diagramm platziert oder gelöscht werden.

- **Analysis.**

Die Analyse und Modifikation von Messdaten kann mit verschiedenen Werkzeugen erfolgen. Nach Auswahl des Werkzeuges öffnet sich ein Fenster in dem die notwendigen Einstellungen zur Bearbeitung vorgenommen werden können. Im Allgemeinen umfasst das die Auswahl der gewünschten Datenreihe und den Ort des Ergebnisgraphen (soweit vorhanden) sowie für die jeweilige Funktion spezifische Angaben:

- Werte auswählen/entfernen:

Einzelne Messwerte oder Bereiche können entfernt oder explizit behalten (alles bis auf den markierten Bereich löschen) werden. Die Auswahl erfolgt mit der Maus oder direkter Eingabe per Tastatur.

- Graph glätten:

Zum Glätten des Graphen stehen drei Modi zur Verfügung:

- * Gleitender Durchschnitt,
- * Bezier und
- * Spline.

- Ableiten:

Für die Berechnung der ersten oder zweiten Ableitung kann mit den Verfahren

- * Differenzen und
- * Glätten

geschehen.

- Integrieren:

Zur Bestimmung des Integrals muss neben Größe und Einheit lediglich der Anfangswert angegeben werden.

- Steigung:

Die Ermittlung der Steigung erfolgt manuell durch Auswahl eines Punktes auf dem Graphen und Anpassung der Tangente mit Hilfe der Cur-

sortasten.

– Fläche:

Der Befehl Fläche wird verwendet, um die Fläche zwischen Graph und der x-Achse in Abhängigkeit des wählbaren x-Intervalls zu berechnen.

– Funktion anpassen:

Das Anpassen einer Funktion mit bis zu 5 Koeffizienten kann manuell oder automatisch geschehen. In Coach enthaltene Funktionen:

$$f(x) = ax + b$$

$$f(x) = ax$$

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

$$f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

$$f(x) = a \cdot e^{bx} + c$$

$$f(x) = a \cdot b^x + c$$

$$f(x) = a(x + b)^c + d$$

$$f(x) = ax^b$$

$$f(x) = \frac{a}{(1 + e^{-bx-c})} + d$$

$$f(x) = a \cdot e^{-(bx+c)^2} + c$$

$$f(x) = a \cdot e^{-(bx)} \cdot \sin(cx + d) + d$$

$$f(x) = a \cdot \sqrt{bx + c} + d$$

$$f(x) = a \cdot \ln |bx + c| + d$$

$$f(x) = \frac{a}{x + b} + c$$

$$f(x) = \frac{a}{(x + b)^2} + c$$

$$f(x) = a \cdot \sin(bx + c) + d$$

– Signalanalyse:

Die Darstellung der Signalanalyse kann linear bzw. logarithmisch in den y-Werten erfolgen. Verfügbare Methoden sind:

- * Fouriertransformierte,
- * Lineare Prädiktion,
- * R-ESPRIT und

- * Proni

- Statistik:

Folgende statistische Daten der Datenreihen werden in einem Fenster angezeigt:

- * Anzahl der Werte,
- * Maximum und Minimum,
- * Mittelwert,
- * Summe,
- * Summe der Quadrate,
- * $s(n)$
- * $s(n-1)$

- Histogramm. Zur Darstellung der Messwerte als Histogramm müssen die Gesamtintervallbreite und die Anzahl der Klassen angegeben werden.

- **Spalte kopieren.**

Dupliziert eine Spalte.

- **Zeilen.**

Dieser Menüpunkt erlaubt es, der Tabelle Leerzeilen hinzuzufügen, Zeilen zu löschen oder die Tabelle neu zu sortieren.

- **Bearbeiten.**

Diese Untermenü enthält Befehle zum Markieren, Ausschneiden und Kopieren von Teilen der Tabelle bzw. zum Einfügen von Daten aus der Zwischenablage.

- **Werte importieren/exportieren.**

Der Import/Export von Messdaten ist in verschiedenen Formaten möglich:

- Coach Result
- Textdatei
- DIF-Datei
- Coach 4
- TI Taschenrechner

- **Drucken.**

Tabellen und Diagramme können mit dieser Funktion auf den in den Druckereinstellungen im Menü Datei ausgewählten Drucker gedruckt werden.

- **Fensterinhalt kopieren.**

Der Fensterinhalt wird in der Zwischenablage abgelegt.

- **Hilfe.**

Öffnet die Online-Hilfe.

2.1.4 XLSmess

Das System XLSmess bietet die Möglichkeit, Messgeräte mit integrierter RS232-Schnittstelle auszulesen und die Messdaten in Microsoft Excel zu importieren (Hartmann, 2003). Es existieren 3 Varianten, die sich in Hard- und/oder Software unterscheiden (XLS 100, XLS 200 und XLS 600) und die gleichzeitige Verwendung von maximal drei, vier oder sechs Geräten gleichzeitig erlauben (Hartmann, 2007).

2.1.4.1 Hardware

Das Herzstück des Computerunterstützten Messwerterfassungssystems XLSmess sind die Interfaces MULTI-BOX bzw. MULTI-BOX 3, die über die serielle Schnittstelle (bei Verwendung eines Adapters auch über die USB-Schnittstelle) an den Computer angeschlossen werden können. Die Stromversorgung (nur für die MULTI-BOX 3 notwendig) erfolgt über ein Netzteil mit Hohlstecker.

Die Interfaces unterstützen den Anschluss von zwei (MULTI-BOX) bzw. drei (MULTI-BOX 3) Messgeräten gleichzeitig, die in der Grundkonfiguration von Hard- und Software (vgl. auch Kapitel 2.1.4.2) einsetzbaren Geräte (bzw. Gerätefamilien) sind in Tabelle 2.6 aufgeführt. Natürlich variieren die Messmöglichkeiten von XLSmess mit dem Einsatz der verschiedenen Instrumente sehr stark.

Für ein typisches Multimeter aus dem LowCost Bereich (Tecpel DMM 8061, baugleich mit Voltcraft VC 840, im Paket mit der XLSmess-Variante XLS 100 erhältlich) listet Tabelle 2.7 die verfügbaren Messbereich auf. Das Auflösungsvermögen liegt dabei bei $1/4000$ des Messbereichsendwert (Ausnahme: Temperatur und Spannungen größer als 400 V), die maximale Messfrequenz beträgt 3 Mes-



Abbildung 2.21: Das System

XLS 100 (Quelle:
www.xlsmess.de)

METEX/VOLTCRAFT-Digitalmultimeter
SARTORIUS-Laborwaagen
PRECISA-Laborwaagen
METTLER-Laborwaagen
KERN-Laborwaagen
IMPO DMI 24 (Demonstrations-Multimeter)
ESCORT 95/97 - Digitalmultimeter
STEIBER ADW16 (AD-WANDLER)
LUTRON-Waagen
LUTRON-Handmessgeräte (pH-Meter, Lux-Meter etc.)
STEINEGGER - Digitalmultimeter
METRA-WATT - (METRA Hit) Digitalmultimeter
Phywe Demonstrations pH-Meter
Digitek DT 4000 Digitalmultimeter
Digitek DT 80 000 Digitalmultimeter
diverse Fluke Digitalmultimeter
VC 820/VC 840 - Voltcraft Digitalmultimeter
BS 300A Waagen und ähnliche
TECPEL DMM 8061 - Digitalmultimeter
TECPEL pH-Meter pH 705
Keithley Multimeter
Digitalthermometer TECPEL DTR 315/Voltcraft KJ201

Tabelle 2.6: Von der XLSmess-Grundkonfiguration unterstützte Messgeräte (Quelle: Hartmann, 1999)

Messbereich V/AC:	4 V - 750 V
Messbereich V/DC:	400 mV - 1000 V
Messbereich A/DC:	400 μ A - 10 A
Messbereich A/AC:	400 μ A - 10 A
Messbereich Widerstand:	400 Ω - 400 M Ω
Messbereich Frequenz:	5 Hz - 10 MHz
Messbereich Kapazität:	40 nF - 100 μ F
Messbereich Temperatur:	-40 °C - 1000 °C

Tabelle 2.7: Messmöglichkeiten mit dem Multimeter Tecpel 8061 (Quelle: Tecpel)

sungen pro Sekunde.

Die Messmöglichkeiten sind zusätzlich über aufsteckbare Module wie z.B. die pH-Box (Hartmann, 2003) erweiterbar.

2.1.4.2 Software

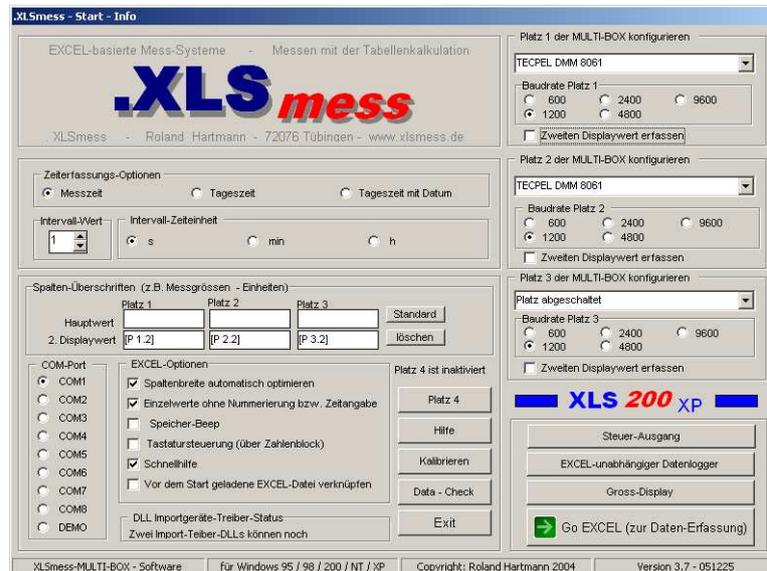


Abbildung 2.22: Excel-basierte Messwerterfassung mit XLSmess (Quelle: Hartmann, 2004)

Die XLSmess-Software existiert in der aktuellsten Version in zwei Varianten, XLS200XP und XLS600XP, die die Messung mit bis vier bzw. sechs Messgeräten gleichzeitig erlauben (beim Anschluss von einer bzw. zwei MULTI-BOXen). Als Betriebssystem wird mindestens Windows 95 gefordert. Um die volle Funktionalität dieser Programme nutzen zu können, muss zudem Microsoft Excel (ab Version 4) auf dem Computer installiert sein. Grundsätzlich können aber auch Messdaten nur mit Hilfe des unabhängigen Datenloggers und des Großdisplays aufgenommen werden.

Im Lieferumfang der Software ist ein gedrucktes Handbuch enthalten (Hartmann, 1999, 49 Seiten), ergänzend dazu beinhaltet die Programm-CD auch noch eine aktualisierte Version (Hartmann, 2003, 50 Seiten). Die aus dem Programm aufrufbare Online-Hilfe enthält ausgewählte Informationen zu den Funktionen der Software.

2.1.4.3 Grundsätzliche Bedienung

XLS200XP und XLS600XP ähneln sich in Bedienung sehr, daher soll hier nur die Version XLS200XP genauer betrachtet werden.

Zur Installation der Software existiert ein Installationsroutine, die durch Aufruf der Datei *setup XLS200xp.exe* gestartet wird. Eine Eingabe eines Freischaltcodes ist dabei nicht erforderlich.

XLS200XP und Microsoft Excel sind als integriertes System ausgelegt. Dies macht zusätzlich noch Einstellungen in Excel erforderlich. So muss die Option „Andere Anwendung ignorieren“ im Optionen Menü deaktiviert werden, da die beiden Programme sonst nicht zusammenarbeiten können. Zudem ist es notwendig, den Makro-Viren-Schutz zu deaktivieren.

Alle zur Erfassung der Messdaten nötigen Einstellungsmöglichkeiten und Funktionen sind über das Start- und das Steuerfenster von XLS200XP zu erreichen (siehe Abbildung 2.22 und Abbildung 2.23). Für die Speicherung, Darstellung und Auswertung der Messung dagegen können alle von Excel bereitgestellten Funktionen und Methoden zur Tabellenkalkulation verwendet werden.

2.1.4.4 Die Aufnahme von Messwerten

Zur Aufnahme von Messwerten müssen sowohl die angeschlossenen Messgeräte als auch der Anschlussplatz der verwendeten MULTI-BOX (COM-Port) identifiziert werden. Eine automatische Erkennung ist nicht möglich. Die Auswahl der Messinstrumente erfolgt über die Dropdown-Felder im Startbildschirm (siehe Abbildung 2.22, rechts). Für nicht aufgeführte Instrumente besteht die Möglichkeit, zwei zusätzliche Importgeräte-Treiber zu installieren, die beim Hersteller angefordert werden können (Informationen dazu auf www.xlsmess.de). Für alle Messplätze kann die Geschwindigkeit der Datenübertragung (abhängig vom Messinstrument) eingestellt werden. Zur Überprüfung des Datentransfers steht die Funktion „Data-Check“ zur Verfügung, bei einem positiven Ergebnis werden die aktuellen Messdaten in einem Fenster eingeblendet.

Neben den maximal drei vorhandenen MULTI-BOX-Plätzen kann XLS200XP auch noch ein viertes Messgerät ansteuern (Schaltfläche „Platz 4“). Allerdings muss dazu eine zweite freie serielle Schnittstelle am im Computer vorhanden sein,

dazu ist sowohl die Anschlussmöglichkeit auf METEX-Digitalmultimeter als auch die Funktionalität (keine Anzeige im Groß-Display, keine Erfassung im externen Datenlogger, keine Möglichkeit der Kalibrierung) beschränkt. Alternativ kann eine zweite serielle Schnittstelle auch als Steuer-Ausgang verwendet und dadurch z.B. eine XLS-Relais-Box oder das XLS-Dosier-Modul (beim Hersteller erhältlich) angesprochen werden. Das Konfigurationsmenü wird über die Schaltfläche „Steuer-Ausgang“ aufgerufen, angeschlossene Elemente werden entweder über die Angabe von Schwellenwerten oder manuell geschaltet.



Abbildung 2.23: Das Steuerfenster von XLS200XP (Quelle: Hartmann, 2004)

Ebenfalls im Startfenster sind verschiedene so genannte „Excel-Optionen“ wählbar (Optionsfelder). Dazu gehört die automatische Anpassung der Spaltenbreite während der Messdatenerfassung und das Ein- bzw. Ausblenden der Nummerierung bzw. Zeitangabe für die Messwerte, wobei die Varianten „Messzeit“, „Tageszeit“ und „Tageszeit mit Datum“ zur Verfügung stehen. Zusätzlich kann ein die Erfassung eines Messwertes mit einem Ton bestätigt und die Schnellhilfe (Tool-

tips⁴) bzw. die Tastatursteuerung des Steuerfensters eingeschaltet werden. Die Aktivierung der Option „Vor dem Start geladene Excel-Datei verknüpfen“ erlaubt es, die Messdaten in einem bestehenden Dokument zu speichern.

Die Messfrequenz wird durch die Software auf eine Messung pro Sekunde beschränkt, darüber hinaus kann sie allerdings in Ein-Sekunden-Schritten beliebig variiert werden.

Für die Messdatenerfassung stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: der von Excel unabhängigen Datenlogger und die „normale“ Messung in Excel. Der Datenlogger erlaubt die Messung auch ohne eine installierte Excel-Version. Die Daten können dann über die Windows-Zwischenablage in andere Anwendungen exportiert oder als Textdatei abgespeichert werden. Allerdings ist es bei dieser Methode nicht möglich, das an Platz 4 angeschlossene Messgeräte auszulesen. Zusätzlich werden eventuell getätigte Kalibrierungseinstellungen wirkungslos.

Zur Messdatenerfassung in Excel schließt man über die Schaltfläche „GO EXCEL (Zur Datenerfassung)“ das Start- und öffnet das Steuerfenster (siehe Abbildung 2.23). Über die Bedienungselemente dieses Fensters sind alle XLSmess-Funktionen zu Messung und Darstellung zu erreichen (Hartmann, 2004):

- Start.
Startet die Messung mit den im Startbildschirm getätigten Einstellungen.
- Stop.
Stoppt die Messung.
- Clear.
Löscht die Spalten A-F der Excel-Tabelle.
- Display.
Öffnet das Großdisplay zur bildschirmfüllenden Anzeige der Messwerte.
- Neues Blatt.
Fügt ein neues Tabellenblatt in die Excel-Arbeitsmappe ein.

⁴Ein Tooltip ist eine Kurzhilfe, die erscheint, wenn der Mauszeiger auf ein Steuerelement (z.B. Schaltfläche oder Optionskästchen bewegt wird.

- Einzelwert.
Speichert nur den aktuellen Messwert.
- Grafik.
Öffnet das Dialogfenster zur Erstellung eines Diagramms, auch vor dem Start der Messung möglich.
- Kalibrieren.
Öffnet das Kalibrierungsfenster. Die lineare Kalibrierung für jeden Kanal (1-3) kann entweder manuell eingegeben (Offset und Faktor) oder durch Eingabe zweier bekannter Wertepaare automatisch bestimmt werden. Die Kalibrierung kann über entsprechende Schaltflächen gespeichert, wiederhergestellt und überprüft werden.
- Setup.
Öffnet das Startfenster.
- Help.
Öffnet die Hilfe.
- Info.
Zeigt Informationen zur Programmversion an.
- Beenden.
Beendet XLS200XP und Excel.
- Optionen zeigen.
Blendet die erweiterten Optionen ein bzw. aus. Neben der Angabe der Anzahl der Dezimalstellen, der Spaltenbreite und der Schriftgrößen können hier eine Reihe weiterer Einstellungen zum Verhalten der Software gesetzt werden:
 - Rechenblatt.
Dieser Tab enthält die Optionen zum Ein- und Ausschalten der Zeilen- und Spaltenköpfe und des Gitternetzes der aktuellen Tabelle. Ferner kann diese maximiert werden.

– Generell.

Hier können die Standard-Symboleisten bzw. die Statusleiste von Excel entfernt und wiederhergestellt werden.

– Grafik.

In diesem Reiter finden sich Formatierungsfunktionen für das durch XLS200XP erstellte Diagramm (Linienbreite, Messpunktmarker, Gitternetzlinien, Grafikhintergrund, Glättung, Beschriftung und Y-Skalen).

– Speichern.

Der Benutzer hat die Möglichkeit, den Ort in der Tabelle zu wählen, an dem die Speicherung der Messwerte beginnt sowie die Auto-Save-Funktion von Excel einzuschalten.

2.1.4.5 Darstellung und Auswertung von Messungen

Durch die Integration der XLSmess-Software in Microsoft Excel stehen zur Auswertung und Darstellung alle Methoden einer Tabellenkalkulation zur Verfügung. Diese umfassen neben der Möglichkeit, Diagramme zu erstellen auch die, umfangreiche Berechnungen auf Basis der Messdaten durchzuführen. Dabei kann die üblich Formelschreibweise für Tabellenkalkulationen verwendet werden, inklusive der speziellen Funktionen (z.B. MITTELWERT zur Mittelwertsbildung oder RGP zur Durchführung einer Regressionsanalyse). Für komplexere Aufgaben ermöglicht Excel außerdem die Programmierung von Makros.

2.2 Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme – Einzelmessgeräte und (LowCost) Peripherie

Neben (Einzel-)Messgeräten, die den Anschluss an einen Computer als optionale Möglichkeit vorsehen, gibt es auch explizit auf Computerunterstützung angewiesene Messeinrichtungen wie z.B. die von der Firma LD Didactic hergestellte VideoCom.

Die Webcam ist schon seit einigen Jahren ein etabliertes LowCost Hilfsmittel zur Erfassung von Bewegungen bzw. allgemein zur Positionsbestimmung von Objekten. Zur Auswertung der Daten steht eine Reihe von Programmen zur Verfügung, neben Videoanalyseprogrammen wie Viana kann dabei durchaus auch die Tabellenkalkulation Microsoft Excel zum Einsatz kommen.

2.2.1 VideoCom

Das Computerunterstützte Messwerterfassungssystem VideoCom dient zur hochauflösenden berührungslosen eindimensionalen Bewegungsaufnahme und Relativmessung von Intensitäten (Hund, 1997).

2.2.1.1 Hardware

VideoCom ist eine Digitalkamera mit einzeiligem CCD-Chip mit 2048 Pixeln (Länge: 28 mm). Ein Pixel besitzt dabei die Maße 14 μm (Breite) mal 200 μm (Höhe). Die Optik der Kamera besteht aus einem 50 mm-Objektiv mit manuell einstellbarer Entfernung und Blende (Hund, 1998). Die Belichtungsdauer der Kamera beträgt konstant 1/800 s. Zur Beleuchtung der zu messenden Objekte steht ein auf das Objektiv aufschraubbares Blitzlicht zur Verfügung, die Blitzdauer kann dabei zwischen 1/8000 s und 1/800 s variieren (Hund, 1997). Diese und andere nötige Einstellungen können über die auf der Oberseite des Gerätes angebrachten Taster (Start/Stop-, Mode, T_{LED}-Taster) und das LC-Display bzw. über die mitgelieferte Software (siehe Kapitel 2.2.1.2) vorgenommen werden. Der Anschluss der Kamera erfolgt über die serielle Schnittstelle oder über den

USB-Anschluss, die Stromversorgung (12 V) über ein Steckernetzgerät.

VideoCom kennt zwei unterschiedliche Betriebsarten (Bewegungsaufnahme und Intensitätsmessung), die über die Software oder den Mode-Taster aktiviert werden können. Im Modus „Bewegungsaufnahme“ können die Positionen von bis zu zehn Körpern gleichzeitig erfasst werden. Dazu werden diese mit einer retroreflektierenden Folie beklebt, die Kamera registriert dann die Reflexe des eingebauten Blitzlichtes. Mit dem eingebauten Objektiv (50 mm) ergibt sich damit eine Auflösung von ca. 0,5 mm bei einer Entfernung von 2 m

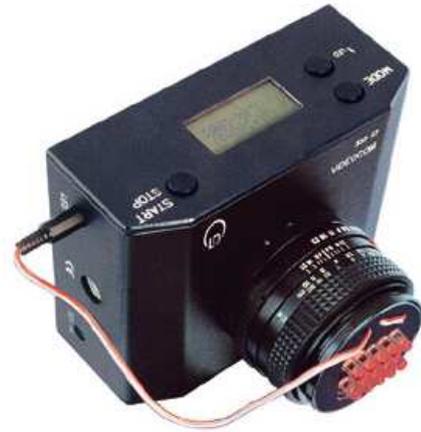


Abbildung 2.24:
VideoCom (Quelle:
www.ld-didactic.com)

zwischen Objektiv und Objekt. Da die allerdings immer jeweils die Position der linken und der rechten Kante des Objektes bestimmt wird, kann der Mittelpunkt sogar auf 0,25 mm aufgelöst werden. Die bei dieser Objektentfernung maximal erfassbare Weglänge beträgt ca. 1,10 m (siehe Abbildung 2.25). Die Orte der beobachteten Körper werden bis zu 160 mal pro Sekunde an den Computer übertragen.

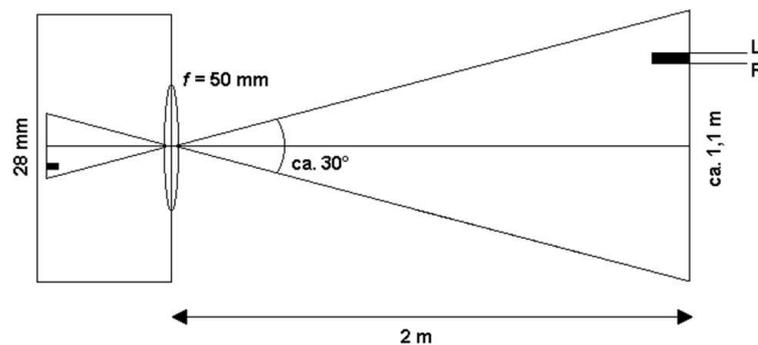


Abbildung 2.25: Weglänge und Auflösung bei VideoCom (Quelle: Hund, 1998)

Anders als bei der Aufnahme von Bewegungen werden bei der Messung von Intensitäten nicht nur die Reflexpositionen, sondern die Intensitätswerte aller 2048 Pixel ausgelesen. Dies kann bis zu zwei Sekunden dauern, so dass Echtzeitmessungen in diesem Modus nur eingeschränkt möglich sind. Die Auflösung der

Intensitätsmessung beträgt 8 Bit.

Die Firmware der VideoCom kann jederzeit über die Software aktualisiert werden (siehe Kapitel 2.2.1.4).

2.2.1.2 Software

Die Software des Computerunterstützten Messwerterfassungssystems VideoCom besteht aus zwei zu den jeweiligen Betriebsmodi gehörenden Teilen: VideoCom Bewegungen und VideoCom Intensitäten, so dass unter dem Oberbegriff VideoCom streng genommen zwei Systeme zusammengefasst werden: VideoCom/VideoCom Bewegungen und VideoCom/VideoCom Intensitäten. Beide Programme können kostenfrei von der Seite des Herstellers (www.ld-didactic.com) heruntergeladen werden und laufen unter allen Windows-Betriebssystemen ab Version 98.

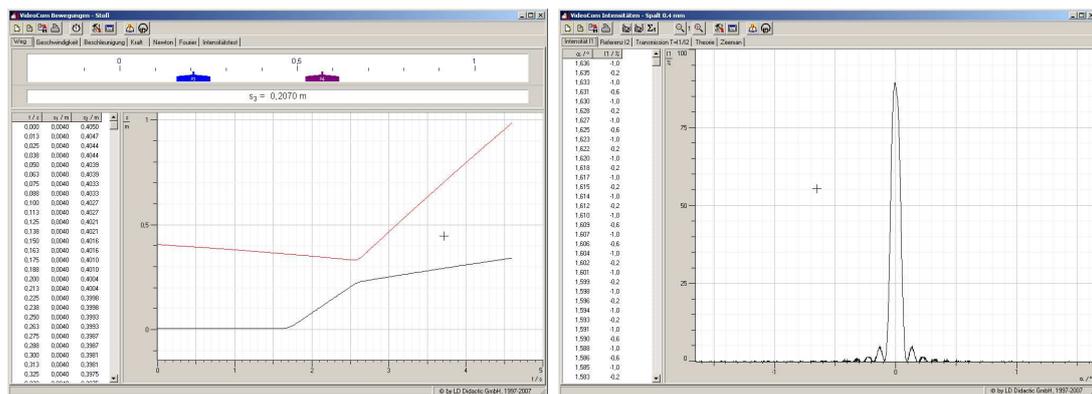


Abbildung 2.26: VideoCom Bewegungen und Intensitäten (Quelle: Hund, 2007a)

In die Software integriert ist die Online-Hilfe, ein zusätzliches gedrucktes oder druckbares Handbuch dagegen fehlt in dem Paket. Allerdings werden zusammen rund 20 Beispielversuche für die beiden Teilbereiche zur Verfügung gestellt.

2.2.1.3 Grundsätzliche Bedienung

Die Installation der Software erfolgt durch Aufruf der Installationsroutine (*video-com.exe*), eine Eingabe eines Freischaltcodes ist nicht erforderlich.

VideoCom ähnelt im grundlegenden Bedienkonzept und Aussehen sehr Cassy Lab (siehe Kapitel 2.1.1.2): In beiden Programmteilen können alle Funktionen über Speed-Buttons, das Kontextmenü (siehe Kapitel 2.2.1.5) und/oder Tastenkombinationen aufgerufen werden.



Abbildung 2.27: Speedbuttons der Programme

VideoCom Bewegung und VideoCom Intensitäten

(Quelle: Hund, 2007a)

Die Funktionen der Buttons sind im einzelnen (von links nach rechts, siehe Abbildung 2.27, Hund, 2007b):

- (alternativ: F4) Löschen der Messungen unter Beibehaltung der Einstellungen, bzw. Löschen der Einstellungen, wenn keine Messung vorhanden ist. Eine zweimalige Anwendung löscht Messungen und Einstellungen.
- (alternativ: F3) Laden einer Messreihe mit den Einstellungen. Im Programmteil Bewegungen können auch Messreihen an bestehende Messungen angehängt werden.
- (alternativ: F2) Speichern der aktuellen Messreihen inklusive Einstellungen und Auswertungen.
- Drucken der aktuellen Tabelle oder des Diagramms.
- (alternativ: F8) Nur im Programmteil Intensitäten: Starten und Stoppen einer Messung mit der Auflösung 256 Pixel (nur jedes 8. Pixel der CCD-Zeile wird ausgelesen).
- (alternativ: F9) Nur im Programmteil Intensitäten: Starten und Stoppen einer Messung mit der Auflösung 2048 Pixel.
- Start und Stop der Mittelwertbildung der Intensitäten I1 (höhere Auflösung der Messwerte).
- Verkleinerung der Belichtungszeit bzw.
- Vergrößerung der Belichtungszeit. Dabei ist die Belichtungszeit in acht Stufen von 1,25 ms bis 25 ms einstellbar.
- (alternativ: F9) Nur im Programmteil Bewegungen: Starten und Stoppen einer Messung.

- (alternativ: F5) Aufrufen des Einstellungsfensters.
- (alternativ: F6) Darstellen der Statuszeile im eigenen Fenster.
- (alternativ: F1) Hilfe.
- Versionsinformationen.

Ähnlich wie Cassy Lab sind die Programmfenster jeweils in einen Bereich für Messwerttabelle und Diagramm unterteilt. Das Größenverhältnis Diagramm – Tabelle kann durch Verschieben der Trennlinie frei variiert werden. Verschiedene vordefinierte Ansichten zur Darstellung und Auswertung der Messwerte sind über die Tabs (Darstellungen) erreichbar (siehe Abbildung 2.26).

2.2.1.4 Die Aufnahme von Messwerten

Die Einstellungen zur Aufnahme von Messwerten können in den jeweiligen Einstellungsfenstern (Shortcut: F5) vorgenommen werden. Nach dem Anschluss der VideoCom-Kamera muss dort zunächst im Reiter „Allgemein“ die Schnittstelle ausgewählt werden (USB bzw. COM1 bis COM 9). Zusätzlich besteht hier auch die Möglichkeit, die Programmsprache zu ändern. Diese Einstellungen kann der Benutzer über die Schaltfläche „Neue Vorgaben abspeichern“ als Standard definieren. Die Schaltfläche „VideoCom aktualisieren“ wiederum überträgt eine eventuell aktualisierte Version der Firmware an die Kamera.

Messung mit VideoCom Bewegungen

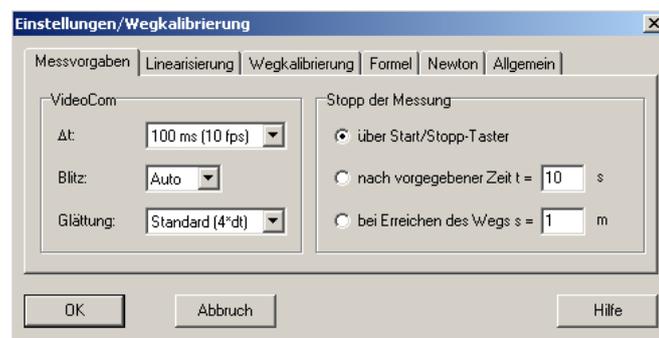


Abbildung 2.28: Das Einstellungsfenster von VideoCom Bewegungen (Quelle: Hund, 2007a)

Die Positionsbestimmung eines Körpers erfolgt bei VideoCom durch die Addition der Pixelpositionen der linken und der rechten Kante des durch die aufgeklebten Folie erzeugten Reflexes auf der CCD-Zeile. Zur Messung von realen Bewegungen mit VideoCom werden daher neben allgemeinen Messvorgaben auch Informationen zur Linearisierung bzw. zur Wegkalibrierung benötigt. Diese können in den ebenso benannten Registrierkarten des Einstellungenfensters eingetragen werden:

Das Zeitintervall zwischen zwei Messungen lässt sich dabei zwischen 6,25 ms (nur bei Nutzung der USB-Schnittstelle) und 200 ms variieren. Da die Belichtungszeit der Kamera in diesem Modus bei konstant 1,25 ms liegt, wird die Belichtung des CCD-Chips indirekt über die Steuerung des LED-Blitzes geregelt, die entweder vollautomatisch durch die Software geregelt oder manuell in 10%-Schritten zwischen 0% und 100% angegeben werden kann. VideoCom bestimmt aus den gemessenen Positionsdaten automatisch die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen (siehe auch Kapitel 2.2.1.5) durch Berechnung des zentralen Differenzenquotienten. Durch die Angabe der dabei verwendeten Intervallbreite kann im gleichnamigen Feld des Tabs „**Messvorgaben**“ der Grad der Glättung definiert werden. Schließlich besteht in diesem Abschnitt auch die Möglichkeit, die Bedingung für das Ende der Messung festlegen (über die Start/Stop-Taste, Zeitdauer und bei Erreichen einer maximalen Wegstrecke).

Fehler bei der Positionierung (Nichtparallelität von CCD-Chip und Bewegungsrichtung des Objektes) der Kamera sowie Verzeichnungsfehler des Objektivs können nichtlineare Abbildungen der Bewegung auf dem CCD-Chip zur Folge haben. Eine Korrektur dieser Fehler kann im Reiter „**Linearisierung**“ vorgenommen werden. Dabei besteht die Möglichkeit, die Werte für den Winkel α sowie die Verzerrung δ direkt einzugeben oder diese von der Software vorschlagen zu lassen. Dafür ist allerdings eine bestehende Messung zweier Objekte mit konstantem Objektabstand nötig.

VideoCom kann nur die Position eines Reflexes auf dem CCD-Chip der Kamera bestimmen. Zur Umrechnung der so gewonnen Pixelkoordinaten in reale Werte genügen – unter der Voraussetzung, dass die Abbildung der Bewegung auf den CCD-Chip linear erfolgt (siehe oben) – zwei Punkte deren reale Position bekannt

ist. Die Pixelpositionen können über die Schaltflächen der Registrierkarte „**Wegkalibrierung**“ direkt aus der Tabelle oder der Anzeige abgelesen werden. Bei einer eventuellen Vertauschung spiegelt die Funktion „Positionen spiegeln“ die Kalibrierung, die über ein Optionskästchen wahlweise aktiviert oder deaktiviert werden kann.

Neben den von VideoCom direkt gemessenen bzw. standardmäßig berechneten Größen (Zeit, Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung) können im Tab „**Formel**“ beliebig viele weitere aus diesen Werten abgeleitete Größen berechnet werden. Dargestellt werden diese in einer eigenen Darstellung im Programmfenster, dabei kann die Skalierung sowie Name, Symbol und Einheit der Größe frei eingestellt werden.

Der Start (und je nach Einstellung auch das Ende) der Messung erfolgt über die entsprechende Schaltfläche der Symbolleiste bzw. die entsprechende Funktionstaste (F9) oder über den Start/Stop-Taster auf der Kamera.

Messung mit VideoCom Intensitäten



Abbildung 2.29: Das Einstellungsfenster von VideoCom Intensitäten (Quelle: Hund, 2007a)

Zur Intensitätsmessung werden die Intensitätswerte der 2048 Pixel der CCD-Zeile der VideoCom ausgelesen. Um daraus die Beugungswinkel bzw. die Wellenlänge zu berechnen, muss zuerst eine Winkel- bzw. Wellenlängenkalibrierung erfolgen.

Zur Ermittlung der Winkel wird neben der Pixelposition die Breite der einzel-

nen Pixel (14 μm) und die Entfernung zwischen Beugungsobjekt und CCD-Chip bzw. bei Verwendung von Abbildungslinsen (siehe auch Kapitel 3.1.2.1) deren effektive Brennweite benötigt. Im Tab „**Winkelkalibrierung**“ des Einstellungs-fensters (F5) (siehe Abbildung 2.29) kann diese im entsprechenden Feld eingetragen werden. Zusätzlich ist es hier möglich, Werte für einen (z.B. durch Streulicht) verursachten Untergrund und ein Verschiebung des Nullpunktes wahlweise manuell oder automatisch festzulegen.

Für eine Gitterspektroskopie ist zur Berechnung der Wellenlänge zusätzlich noch die Angabe zur Gitterkonstante (in Linien/mm) und der Beugungsordnung nötig. Diese Eingaben können im Reiter „**Wellenlängenkalibrierung**“ getätigt werden. Alternativ kann auch bei Kenntnis der zu zwei Beugungswinkeln zugehörigen Wellenlänge eine automatische Kalibrierung erfolgen (Schaltfläche „Kalibrierung vorschlagen“).

Im Gegensatz zum Modus „Bewegungsmessung“ lässt sich bei der Intensitätsmessung die Belichtungszeit und damit die Empfindlichkeit des Bildsensors in acht Stufen von 1,25 ms bis 25 ms einstellen. Dies geschieht über die jeweiligen Speed-Buttons (siehe Kapitel 2.2.1.3). Der Start der Messung erfolgt über die Schaltflächen in der Symbolleiste bzw. die entsprechenden Funktionstasten (F8 und F9). Dabei ist entweder eine Messung mit allen Pixeln oder mit nur jedem achten Pixel des CCD-Chips möglich. Alternativ können auch die Mode- und Start/Stop-Taster der Kamera verwendet werden. Je nachdem, welche Darstellung aktiviert wurde, werden die Daten als Intensität I1 oder Referenz I2 abgespeichert.

2.2.1.5 Darstellung und Auswertung von Messungen

Für die Auswertung und Darstellung der Messung stehen in beiden Programmteilen eine Reihe von Funktionen zur Verfügung, die über das Kontextmenü (Klick mit der rechten Maustaste) erreichbar sind (siehe auch Hund, 2007a):

- **Übersichtsdarstellung wählen (nur bei VideoCom Bewegungen).**
Die Übersichtsdarstellung ermöglicht die gleichzeitige Darstellung von Kurven (s, v, a oder Formel) in Tabelle und Diagramm.

- **Spalte löschen (nur bei VideoCom Bewegungen).**

Diese Funktion löscht die Tabellenspalte, auf die zum Aufruf des Menüs mit der rechten Maustaste geklickt worden ist.

- **Schriftgröße wählen.**

Für die Schriftgröße der Tabelle kann zwischen kleiner, mittlerer und großer Schrift gewählt werden.

- **Koordinaten anzeigen.**

Durch das Einschalten dieser Option (alternativ auch über die Tastenkombination „ALT + K“ möglich) werden die Koordinaten der Position, an der sich der Mauszeiger aktuell befindet, in der Statuszeile eingeblendet. Beendet wird dieser Modus durch erneute Auswahl des Menüpunktes oder durch das Durchführen einer anderen Aktion, die ein Ergebnis in die Statuszeile schreibt.

- **Linienbreite wählen.**

Hier kann die Linienbreite des Diagramms und der Auswertungen angepasst werden (schmal, mittelbreit oder dick).

- **Werte einblenden (nur bei VideoCom Bewegungen).**

Dieser Befehl markiert die einzelnen Werte durch Quadrate.

- **Verbindungslinien einblenden(nur bei VideoCom Bewegungen).**

Blendet die Verbindungslinien zwischen den Messwerten ein und aus.

- **Skalierung wählen.**

Die Skalierung des Diagramms links und oben bzw. rechts und unten einblenden oder ganz entfernen.

- **Farbverlauf einblenden (nur bei VideoCom Intensitäten).**

Nach erfolgter Wellenlängenkalibrierung wird mit diesem Befehl der Farbverlauf zwischen 400 nm und 800 nm ein- oder ausgeblendet.

- **Raster einblenden.**

Im Diagramm kann ein Raster aus- und wieder eingeblendet werden.

- **Zoomen.**

Diese Funktion vergrößert einen durch Klicken und Ziehen mit der linken Maustaste gewählten Bereich des Diagramms (Tastenkombination: „ALT + Z“).

- **Zoom ausschalten.**

Schaltet die Vergrößerung aus (Tastenkombination: „ALT + A“).

- **Markierung setzen.**

Es stehen vier verschiedene Markierungsfunktionen zur Verfügung: Text („ALT + T“), senkrechte („ALT + S“) und waagerechte Linie („ALT + W“) und Differenzlinie („ALT + D“). Die Option Text übernimmt als Vorschlag den aktuellen Inhalt der Statuszeile, dieser kann übernommen oder editiert werden, es stehen drei Schriftgrößen zur Auswahl, die Ausrichtung der Schrift kann dabei senkrecht oder waagrecht sein. Die Differenzlinie ist eine beliebige Linie zwischen zwei Punkten im Diagramm, deren Abstand zusätzlich in der Statuszeile angegeben wird.

- **Mittelwert einzeichnen (nur bei VideoCom Bewegungen).**

Der Mittelwert für den zu markierenden Kurvenbereich wird berechnet und inklusive des statistischen Fehlers in der Statuszeile eingeblendet.

- **Anpassung durchführen.**

Verschiedene Funktionen sind im Programm für die Anpassung einer Kurve an die Messwerte vorgegeben:

Ursprungsgerade	$y = A \cdot x$
Ausgleichsgerade	$y = A \cdot x + B$
Parabel	$y = A \cdot x^2 + B \cdot x + C$ (nur bei VideoCom Bewegungen)
Hyperbel $1/x$	$y = A/x + B$ (nur bei VideoCom Bewegungen)
Einhüllende einer Schwingung	$y = \pm A \cdot e^{-x/B} + C$ (nur bei VideoCom Bewegungen)

Nach Wahl der Funktion für den Kurvenfit muss auch hier der Wertebereich mit der linken Maustaste markiert werden. Die berechneten Parameter werden in die Statuszeile eingetragen.

- **Peakschwerpunkt berechnen (nur bei VideoCom Intensitäten).**
Es wird der Schwerpunkt des markierten Peaks berechnet und in die Statuszeile eingetragen.
- **Integral berechnen (nur bei VideoCom Bewegungen).**
Nach der Wahl des Wertebereichs berechnet diese Funktion die Fläche, den Kurve und x-Achse einschließen.
- **FFT berechnen (Fourier-Fenster) (nur bei VideoCom Bewegungen).**
Ein ausgewählter Kurvenbereich wird einer Fourieranalyse unterzogen. Das Ergebnis wird in der Darstellung „Fourier“ des Programmfensters als A(f)-Diagramm angezeigt.
- **Letzte Auswertung löschen.**
Löscht die zuletzt erstellte Auswertung (Tastenkombination: „ALT + A“).
- **Alle Auswertungen löschen.**
Löscht alle Auswertungen.

Neben diesen Funktionen stellt die VideoCom-Software jeweils eine Reihe auf die spezielle Problematik der Messung angepasste Darstellungsfenster zur Verfügung, die den Benutzer bei der Auswertung und Darstellung unterstützen. Im Programmteil Bewegungen werden so automatisch Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung berechnet und dargestellt, ebenso sind die Ergebnisse der Fourier-Analyse und die im Einstellungsfenster definierten Formeln auf einem eigenen Reiter dargestellt (siehe auch Abbildung 2.26). Mit Hilfe des Tabs „Newton“ kann die Newtonsche Bewegungsgleichung verifiziert werden, die dafür erforderlichen Einstellungen findet man im Einstellungsfenster (F5). In der Darstellung „Intensitätstest“ werden die Intensitätswerte von 256 repräsentativen Pixel aufgeführt, dies dient zur Problembehebung bei der Erfassung von Positionen.

VideoCom Intensitäten bietet eine vollautomatische Berechnung der Transmission, dabei werden die Werte der Spalten I1 durch die der Spalte I2 dividiert und im entsprechenden Tab dargestellt. Mit Hilfe Darstellung „Theorie“ wiederum besteht die Möglichkeit, experimentell bestimmte mit den sich aus der Theorie

ergebenden Interferenzkurven zu vergleichen. Zur Verfügung stehen dabei die Modi Spalt, Gitter und Halbebene; die benötigten Parameter wie Gitterkonstante, Spaltbreite oder Spaltabstand können im Einstellungsfenster im Reiter „Theorie“ eingegeben werden.

2.2.2 Viana/Webcam (Philips PCVC840K/20)

Die Nutzung von Webcams⁵ zur berührungslosen Bewegungsmessung ist eines der fast schon „traditionellen“ LowCost-Messwerterfassungssysteme. Durch den rapiden Preisverfall insbesondere in den letzten Jahren und die Entwicklung verschiedener Software ist diese Methode der Messung für Schule attraktiver geworden. Die Auswahl an Software zur Auswertung der mit einer Webcam gewonnenen Bilddaten ist umfangreich. Exemplarisch soll in diesem Kapitel die Nutzung des Programms Viana zur Analyse von Bewegungen erläutert werden. Die Experimentiermöglichkeiten, die sich aus der Kombination von Webcam und der Tabellenkalkulation Microsoft Excel ergeben werden in Kapitel 3.4.3 am praktischen Beispiel der Untersuchung von Interferenzmustern vorgestellt.



Abbildung 2.30: Die Philips ToUcam PRO II PCVC840K (Quelle: Philips, 2003)

2.2.2.1 Hardware

Die Philips ToUcam PRO II PCVC840K ist eine Digitalkamera, die über den USB-Anschluss direkt an den PC angeschlossen wird (Philips, 2003). Sie enthält einen CCD-Chip der 1/4-Zoll-Klasse (Sony ICX098BQ). Die Diagonale des Sensors beträgt dabei 4,5 mm, damit ergibt sich eine Breite von 3,6 mm und eine Höhe von ca. 2,9 mm. Einzelne Pixel des CCD-Chips haben die Maße 5,6 μm x 5,6 μm ; dies entspricht bei eingebautem Objektiv (6 mm) und einer Entfernung von 2 m zwischen Objektiv und Objekt einer Auflösung von ca. 2 mm. Maximal können 60 Bilder pro Sekunde aufgenommen werden.

Zum Betrieb der Kamera ist ein PC mit mindestens Windows 98 erforderlich.

⁵Eine Webcam ist ursprünglich „eine Kamera, deren Bilder direkt auf eine Seite des World Wide Web übertragen werden“ (Wikipedia). Im allgemeinen Sprachgebrauch hat sich allerdings diese Bezeichnung auch für niedrigpreisige Digitalkameras zum direkten Anschluss an den PC durchgesetzt.

2.2.2.2 Software

Viana (Kersting u. a., 2004) ist eine an den Universitäten Essen und Münster entwickelte Anwendung zur Positionsbestimmung gefilmter Objekte (Kersting, 2002). Dazu werden (manuell oder automatisch durch Farberkennung) die Pixelkoordinaten des gewünschten Objektes für jedes Bild des Filmes bestimmt, so dass nach erfolgter Kalibrierung eine zweidimensionale Positionsangabe möglich ist.

Das Programm ist für nichtkommerzielle Zwecke kostenfrei auf der Webseite des Entwicklers erhältlich (<http://didaktik.physik.uni-essen.de/viana/>). In das Programm integriert ist eine kontextsensitive Hilfefunktion zusätzlich dazu existiert ein Kurzhandbuch im HTML-Format. Viana ist lauffähig unter Microsoft Windows ab der Version 95.

Neben Viana wird eine Software benötigt, um die zu analysierenden Filme aufzunehmen. Im Falle der Philips ToUcam kann dazu das im Lieferumfang enthaltene Programm VRecord verwendet werden. Auch für dieses Produkt ist ein HTML-Handbuch auf der CD vorhanden.

2.2.2.3 Grundsätzliche Bedienung

VRecord

Die Installation von VRecord erfolgt im Allgemeinen im Rahmen der Installation der Kamera-Treiber von der zugehörigen CD aus, kann aber auch zu einem späteren Zeitpunkt nachgeholt werden. (Start der Installationsroutine über *autorun.exe*). Die Bedienung des Programms erfolgt komplett über die vier Bereiche der Menüleiste:

- Im Menü **Datei** kann der Ort der Aufnahme-datei gewählt, sowie Speicherplatz für die Videos reserviert werden. Diese können dann in einem beliebigen Verzeichnis abgespeichert werden.
- Beim Anschluss mehrerer **Geräte** zur Erfassung von Bild und Ton muss im gleichnamigen Menü die gewünschte Hardware aktiviert und
- im Abschnitt **Optionen** konfiguriert werden. Sowohl Video- als auch Audioformat sind hier einstellbar, zusätzlich hat der Benutzer die Möglichkeit, das

Vorschaubild ein- oder auszuschalten und über die Videoeigenschaften die Kameraeinstellungen zu verändern (Bildrate, Belichtung und Weißabgleich können manuell oder automatisch bestimmt werden, dazu stehen noch Optionen zur Bildeinstellung wie z.B. Kontrast oder Helligkeit zur Verfügung).

- Zum Start und Ende der **Aufnahme** dient das entsprechende Menü. Weiterhin erfolgt hier die Aktivierung oder Deaktivierung der Audioaufnahme sowie die Anpassung von Bildrate, Zeitlimit (automatisches Ende der Aufnahme) sowie Synchronisationseinstellungen.

Viana

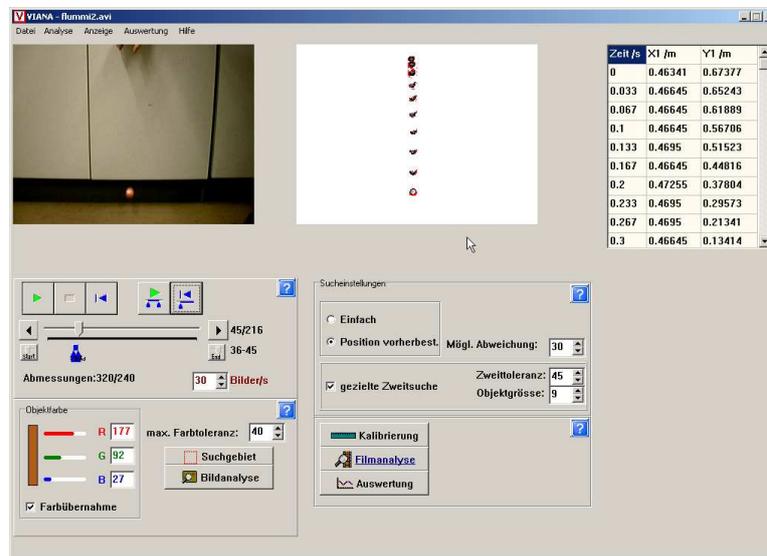


Abbildung 2.31: Berührungslose Bewegungsmessung mit Viana (Quelle: Kersting u. a., 2004)

Eine Installation von Viana ist nicht notwendig, die Software muss lediglich aus dem ZIP-Archiv extrahiert und in einen beliebigen Ordner kopiert werden.

Das Programmfenster (siehe Abbildung 2.31) von Viana ist unterteilt in verschiedene Bereiche, in denen über Schaltflächen und Optionsfelder die direkt zur Aufnahme der Messwerte benötigten Einstellungen und Funktionen aufgerufen werden können. Allgemeine Programmoptionen dagegen sind über die Menüleiste erreichbar:

- Sowohl neue Filme zur Analyse als auch bereits aufgenommene Wertetabellen können im Menü **Datei** geladen werden.

- Im Menü **Analyse** kann der Benutzer zwischen einem Anfänger- und einem Profimodus wählen („Starteinstellungen“ bzw. „Profeinstellungen“). Weiterhin kann hier die Arbeitsgeschwindigkeit des Programmes reduziert werden (für älter Computer sinnvoll).
- Unter **Anzeige** findet man Optionen zur Konfiguration des Bildanalysefensters (siehe Kapitel 2.2.2.4), analog dazu dient
- das Menü **Auswertung** zur Konfiguration der Diagramme des Auswertungsfensters.
- Die **Hilfe** und Informationen zum Programm können über das entsprechende Menü aufgerufen werden.

Die Datei *Vianavoreinstellungen.txt* ermöglicht es, eine bestimmte Grundkonfiguration direkt beim Start zu laden.

2.2.2.4 Die Aufnahme von Messwerten

Die Aufnahme von Messwerten erfolgt bei der berührungslosen Videoanalyse mit Viana in zwei Schritten:

1. Das Filmen der Bewegung mit der Webcam und dem Programm VRecord.
2. Die Analyse des Videos in Viana.

Die Aufnahme des Filmes

Im Programm VRecord müssen zunächst die Einstellungen für Videoformat und Bildrate getätigt werden (siehe auch Kapitel 2.2.2.2). Die maximale Auflösung (Ausgabegröße des Videos) bzw. die maximale Bildrate (Framerate) richtet sich nach den Leistungsdaten des verwendeten Computers, in der Regel ist eine Framerate von 30 Bildern pro Sekunde bei einer Videogröße von 640 x 480 Pixeln möglich. Mit Hilfe des Vorschaufensters und dem Kamera-Einstellungsfenster (Videoeigenschaften) können bei Bedarf Belichtungszeit und Bildkorrektur (z.B. Kontrastverstärkung) angepasst werden. Start und Ende der Aufnahme erfolgt über das Aufnahme-Menü, gegebenenfalls kann dort auch ein Zeitlimit festgelegt werden.

Die Analyse des Videos

Nach dem Start des Programmes (*viana364.exe*) kann der zu analysierende Film direkt im Startfenster ausgewählt werden. Im Videobedienfeld des Programmfensters (siehe Abbildung 2.31) hat der Benutzer dann die Möglichkeit, den Film abzuspielen und den für die Messung relevanten Teil zu beschränken. Die Festlegung des ersten und letzten Bildes erfolgt dabei mit Hilfe eines Schiebereglers bzw. Schaltflächen, die jeweils ein Bild vor- oder rückspulen. Zur eigentlichen Auswertung des Videos stehen zwei Modi zu Verfügung (manuell und automatisch), die über Schaltflächen aktiviert werden können.

Manuelle Erfassung

Zur manuellen Positionsbestimmung von Objekten wird das Video im Vollbildmodus geöffnet und das Steuerfenster (siehe Abbildung 2.32) eingeblendet. In einem ersten Schritt wird eine Kalibrierung vorgenommen. Der Benutzer muss dazu Anfangs- und Endpunkt einer bekannten Strecke im aktuellen Bild festlegen und die zugehörige Länge eingeben. Der Nullpunkt des zu Positionsbestimmung verwendeten Koordinatensystem befindet sich in der linken unteren Bildecke, kann jedoch beliebig verschoben werden. Die Markierung des Objektes erfolgt dann nach Wahl des gewünschten Mauszeigers durch Klick mit der linken Maustaste während ein Rechtsklick den Wechsel zum nächsten Bild auslöst. Die Daten werden dabei automatisch in die Messwerttabelle eingetragen. Nach Abschluss der Positionsbestimmung kann das Auswertungsfenster über die gleichnamige Schaltfläche geöffnet werden. Mit dem Schließen des Steuerfensters wird die manuelle Auswertung beendet. Alle Messdaten gehen dabei – soweit sie nicht im Auswertungsfenster gespeichert oder nach Excel exportiert wurden (siehe Kapitel 2.2.2.5) – verloren.



Abbildung 2.32: Manuelle Auswertung

Automatische Erfassung

Um die Lage von Objekten zu erfassen, nutzt Viana Farberkennung. Daher muss die Farbe eines Objektes bestimmt werden. Dies kann zum einen durch einen

Klick mit der linken Maustaste im Videofenster als auch durch manuelle Eingabe der RGB-Farbwerte (nur im Profimodus). Zusätzlich wird ein maximaler Farbtoleranzwert definiert; die Höhe dieses Wertes bestimmt dabei, inwieweit auch abweichende Farbnuancen als zum verfolgten Objekt zugehörig erkannt werden. Da sich die Objektfarbe scheinbar im Laufe des Filmes verändern kann (z.B. durch ungünstige Beleuchtung) besteht die Möglichkeit durch setzen des Häkchens bei „Farbübernahme“ die Objektfarbe von Bild zu Bild anzupassen. Zur Überprüfung des Ergebnisses der Farbanalyse für den betreffenden Videoframe dient das Bildanalysefenster, in dem die erkannten Bereiche dargestellt werden. Zum Ausschluss von Störfaktoren (z.B. aus dem für die Bewegungsmessung irrelevanten Randbereich) besteht zusätzlich die Option, das Suchgebiet einzuschränken.

Im Teilfenster „Sucheinstellungen“ kann der Vorgang der Positionsbestimmung zusätzlich noch optimiert werden. Während bei der Wahl der Option „Einfach“ das gesamte Suchgebiet auf die Objektfarbe hin analysiert wird, bewirkt die Aktivierung von „Position vorherbestimmen“ die Beschränkung der Suche auf ein Gebiet mit anzugebendem Radius um die zuletzt ermittelte Position. Die „gezielte Zweitsuche“ erfolgt bei Bedarf in einem kleinen Bereich (Einstellung über „Objektgröße“) um das Objekt. So kann ein aufgrund einer niedrig gewählten Farbtoleranz nur teilweise erkanntes Objekt vollständig bestimmt werden, was eine genauere Berechnung des Objektmittelpunktes bewirkt.

Die Kalibrierung und Nullpunktverschiebung erfolgt analog zur manuellen Messung über die entsprechende Schaltfläche. Das Anklicken von „Filmanalyse“ startet schließlich die eigentliche Erfassung der Bewegung. Die Ergebnisse werden dabei in Echtzeit sowohl im Bildanalysefenster als auch in der eingeblendeten Messwertetabelle dargestellt, ergänzend dazu erfolgt für jedes Bild des Filmes ein Quittungston, der anzeigt, ob ein Objekt erkannt oder nicht erkannt wurde. Die Analyse kann jederzeit über die während des Prozesses sichtbare Schaltfläche „Abbrechen“ unterbrochen werden.

2.2.2.5 Darstellung und Auswertung von Messungen

Das Auswertungsfenster (siehe Abbildung 2.33) wird über die Schaltfläche „Auswertung“ eingeblendet. Viana ist dabei auf vordefinierte, für die Bewegungsanalyse

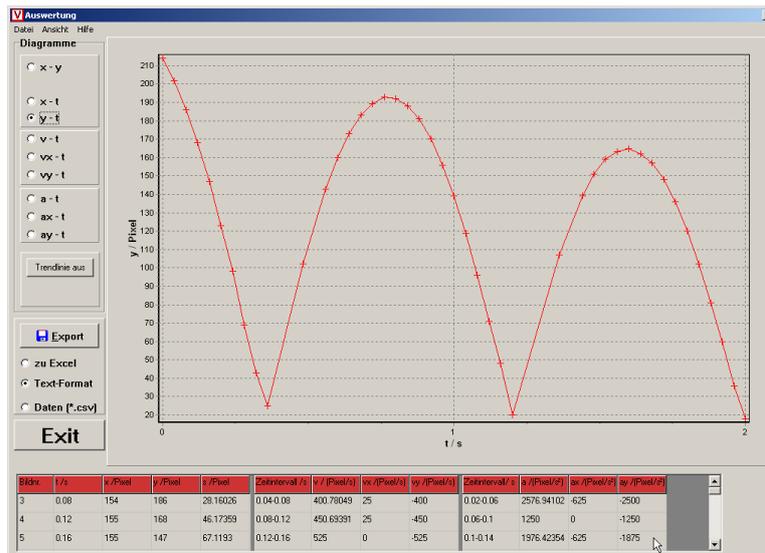


Abbildung 2.33: Das Auswertungsfenster von Viana
(Quelle: Kersting u. a., 2004)

zugeschnittene, Diagramme beschränkt. Welche Diagramme angeboten werden wird über das Menü **Ansicht** gesteuert, zur Auswahl stehen die Kategorien

- Phasenraum,
- Diagramm (1-dimensional) und
- Diagramm (2-dimensional).

Das Einblenden einer Trendlinie mit variablem Glättungsfaktor ist möglich. Eine Vergrößerung beliebiger Ausschnitte der Darstellung kann durch Klicken und Ziehen mit der linken Maustaste erreicht werden, die rechte Maustaste dient dann zum Verschieben des Ausschnittes.

Um die Auswertungsfunktionen externer Programme nutzen zu können, stellt Viana Exportmöglichkeiten zur Verfügung; neben dem reinen Textformat ist dabei auch das Speichern im CSV-Format möglich während ein Klick auf die Schaltfläche „Excel“ die Tabellenkalkulation Microsoft Excel (nur falls installiert) öffnet und die Messdaten dort direkt einfügt. Welche Daten dabei berücksichtigt werden, kann in der Datei *Vianavoreinstellungen.txt* definiert werden.

Kapitel 3

Testanwendung Beugung und Interferenz mit dem Laser

3.1 Allgemeines

Die Entdeckung von Interferenzerscheinungen beim Licht (Thomas Young, 1801) war einer der entscheidenden Augenblicke in der modernen Physik, denn sie führte im langen Streit um die Natur des Lichtes zu einer Bestätigung seiner Welleneigenschaften.

Versuche zu Interferenz und Beugung von Lichtwellen gehören zum Standardrepertoire in der Lehre. Interferenzerscheinungen an Einzel- und Mehrfachspalt ermöglichen die Untersuchung der Welleneigenschaften des Lichtes, insbesondere die Zusammenhänge zwischen Spaltbreite bzw. Anzahl, Wellenlänge des Lichtes und Lage der Intensitätsminima oder -maxima bzw. der Intensitätsverteilung allgemein.

Denkbare Verfahren zu Messung und Auswertung sind vielfältiger Art. Sie reichen vom rein „visuellen“ Ausmessen der Interferenzmuster bis hin zur vollautomatischen Aufnahme und Analyse. Dabei besitzt jede der dazu notwendigen Messeinrichtungen spezielle Stärken und Schwächen insbesondere beim Einsatz im Unterricht.

3.1.1 Erläuterung fachgebundener Begriffe

3.1.1.1 Beugung und Interferenz

Trifft eine Wellenfront auf ein Hindernis, so bewegt sich die Welle in der Nähe der Ränder des Hindernisses nicht nur in der durch die Strahlengeometrie gegebenen Richtung weiter, sondern kann sich auch in den geometrischen Schattenraum des Hindernisses ausbreiten. Dieses Phänomen wird **Beugung** genannt.

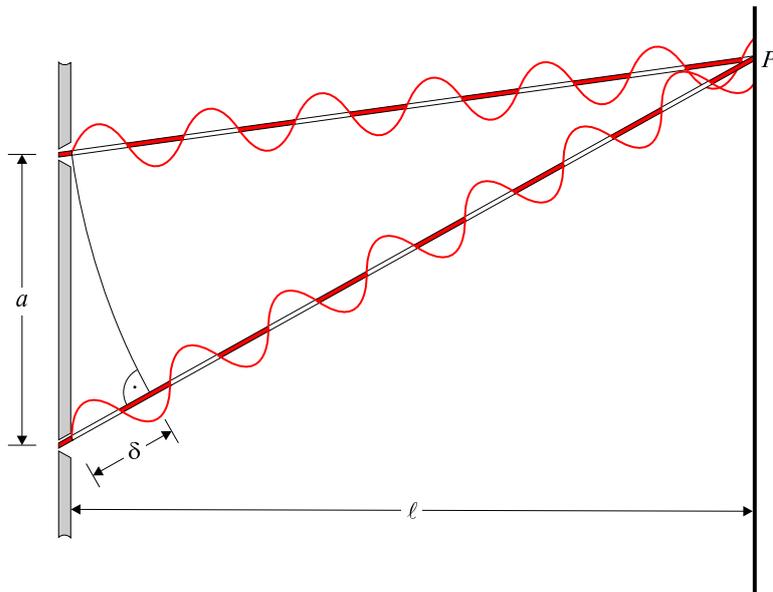


Abbildung 3.1: Gangunterschied zweier Strahlen beim Doppelspalt

Aufeinandertreffende Wellen überlagern sich algebraisch zu einer neuen Welle (Superpositionsprinzip). Entstehen bei der Überlagerung harmonischer Wellen derselben Frequenz dauerhafte Muster im Raum, so spricht man von **Interferenz**.

Interferenz mehrerer Wellen lässt sich nur dann beobachten, wenn sie kohärent sind, das heißt eine zeitlich unveränderliche Phasendifferenz muss gegeben sein. Ist diese Phasendifferenz 0 oder ein ganzzahliges Vielfaches von 2π , so interferieren die Wellen konstruktiv und destruktiv, wenn sie π oder ein ungeradzahliges Vielfaches davon ist.

3.1.1.2 Interferenzmuster beim Doppelspalt

Lässt man kohärentes, monochromatisches Licht (zum Beispiel von einem Laser) auf einen Doppelspalt fallen, so erkennt man auf einem Schirm hinter dieser Blen-

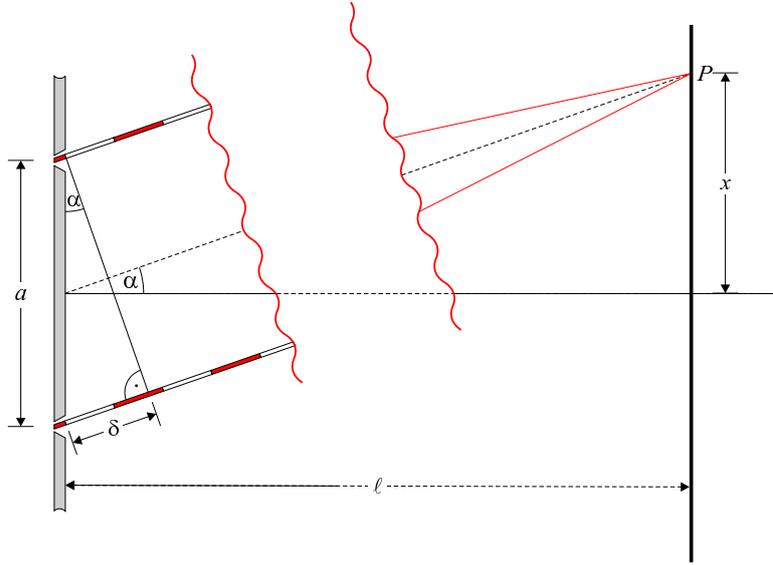


Abbildung 3.2: Zur Positionsbestimmung der Maxima und Minima beim Doppelspalt

de ein Interferenzmuster. Ist der Abstand ℓ zwischen Doppelspalt und Schirm groß gegen den Spaltabstand a , so treffen die von den Spalten ausgehenden Strahlen praktisch parallel auf dem Schirm auf. An einem Punkt P auf dem Schirm beträgt ihr Gangunterschied δ daher $\delta = a \cdot \sin \alpha$ (siehe Abbildung 3.2). Ist dieser gleich einem ganzzahligen Vielfachen n der Wellenlänge λ und damit die Phasendifferenz gleich einem ganzzahligen Vielfachen n von 2π , so findet konstruktive Interferenz statt. Für ein Interferenzmaximum auf dem Schirm ergibt sich also mit n als der Ordnung des Maximums:

$$a \cdot \sin \alpha = n\lambda. \quad (3.1)$$

Für die Intensitätsminima gilt dann:

$$a \cdot \sin \alpha = \left(n - \frac{1}{2}\right) \lambda. \quad (3.2)$$

Da für kleine Winkel $\sin \alpha \approx \tan \alpha$ gilt und $\tan \alpha = \frac{x}{\ell}$ ist, ergibt sich für den Abstand x eines Maximums von der Mitte des Schirms:

$$x = n \frac{\lambda \ell}{a}. \quad (3.3)$$

3.1.1.3 Interferenz beim optischen Gitter

Ein optisches Gitter besteht aus vielen engen Spalten in gleichem Abstand voneinander, wobei der Abstand benachbarter Spaltmitten Gitterkonstante g heißt. Trifft ein Laserstrahl senkrecht auf das Gitter, so zeigt sich auf einem weit entfernten Schirm dahinter ein Interferenzmuster, ähnlich dem des Doppelspaltes. Der Gangunterschied der Strahlen zweier benachbarter Spalten ist $g \cdot \sin \alpha$. Analog zum Doppelspalt erhält man für die Lage der Maxima:

$$g \cdot \sin \alpha = n\lambda. \quad (3.4)$$

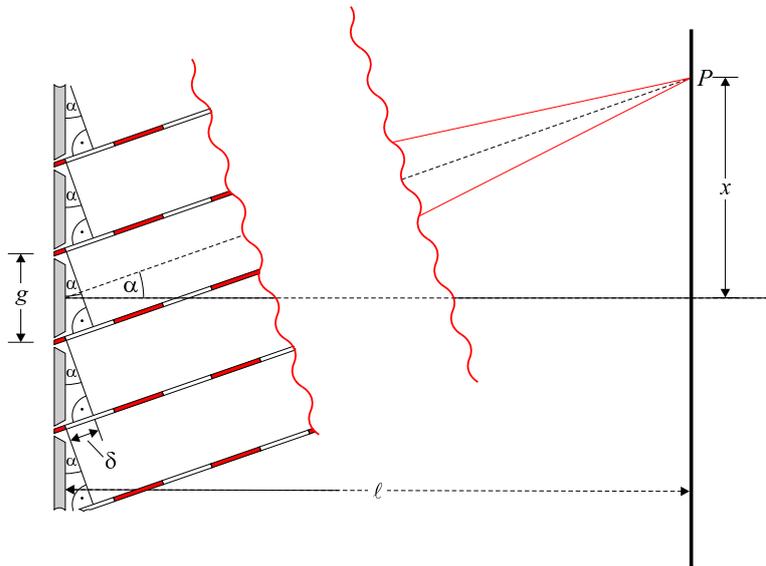


Abbildung 3.3: Zur Positionsbestimmung der Maxima und Minima beim Gitter

3.1.1.4 Beugung am Einfachspalt

Ebenso wie bei Doppelspalt und Gitter beobachtet man auch bei der Beleuchtung eines Einfachspaltes mit kohärentem Licht ein Interferenzmuster auf dem Schirm. Gemäß dem Huygens'schen Prinzip versteht man jeden Punkt der Spaltebene als Punktquelle einer neuen Elementarwelle. Untersucht man die Interferenz N solcher Quellen (N gerade), unter dem Winkel $d \cdot \sin \alpha = \lambda$ (d : Spaltbreite), so erkennt man, dass sich gerade die i -te Elementarwelle mit der $(N/2+i)$ -ten Welle mit einem Gangunterschied von $\lambda/2$ auslöscht ($i \leq N/2$). Anders ausgedrückt: zu jedem Strahl aus dem Teilbündel I existiert ein Strahl aus dem Teilbündel II

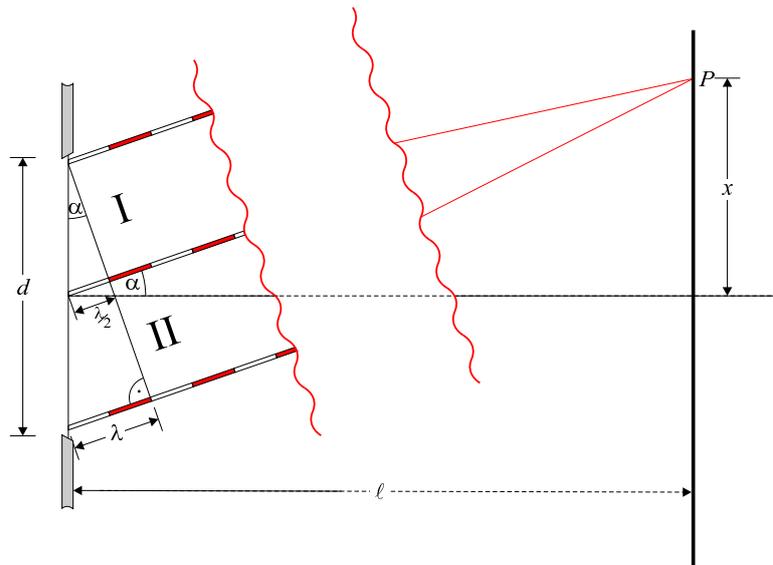


Abbildung 3.4: Zur Positionsbestimmung der Maxima und Minima beim Einzelspalt

mit einem Gangunterschied von $\lambda/2$ – man erhält ein Intensitätsminimum. Für Minima höherer Ordnung lässt sich die Überlegung mit der Betrachtung von $n \cdot N$ Elementarwellen analog durchführen und man erhält für die Minima:

$$d \cdot \sin \alpha = n \lambda. \quad (3.5)$$

Für die Intensitätsmaxima ergibt sich:

$$d \cdot \sin \alpha = \left(\frac{2n + 1}{2} \right) \lambda. \quad (3.6)$$

3.1.1.5 Intensitätsverteilung bei der Interferenz am Gitter

Für die Berechnung der Intensität in Abhängigkeit des Beugungswinkels α müssen N (N : Anzahl der beleuchteten Spalte) um φ phasenverschobene, harmonische Wellenfunktionen überlagert, d.h. addiert werden. Verwendet man zur Addition Zeigerdiagramme, so erhält man unter der Voraussetzung, dass alle Elementarwellen in Punkt P dieselbe Amplitude A haben, einen regelmäßigen, mit einem Kreis des Radius r umschriebenen, Polygonzug. Es ergibt sich

$$A = 2r \cdot \sin(\varphi/2) \quad (3.7)$$

und für die resultierende Amplitude A_P

$$A_P = 2r \cdot \sin(N\varphi/2). \quad (3.8)$$

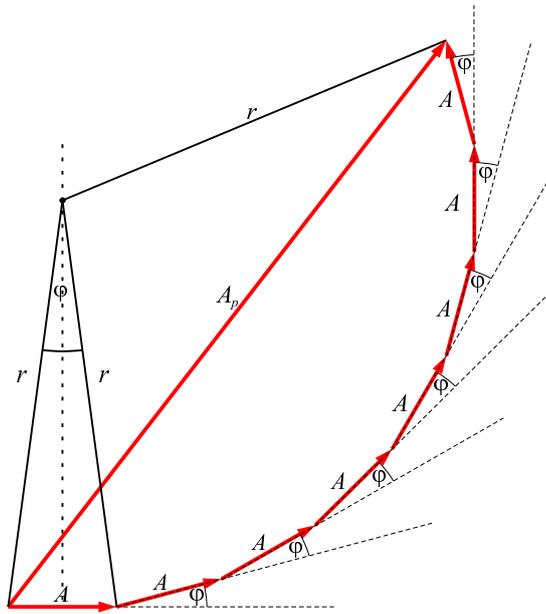


Abbildung 3.5: Zur Berechnung der Intensitätsverteilung

Aus Gleichung 3.7 und 3.8 folgt

$$\frac{A}{NA_P} = \frac{\sin(N\varphi/2)}{N \sin(\varphi/2)} \quad (3.9)$$

Da die Intensität I proportional zum Quadrat der Amplitude ist, ergibt sich mit $N \cdot A = A_{max}$:

$$I_P = I_{max} \left(\frac{\sin(N\varphi/2)}{N \sin(\varphi/2)} \right)^2. \quad (3.10)$$

Mit $\varphi = 2\pi \frac{g}{\lambda} \sin(\alpha)$ und $\sin \alpha \approx \frac{x}{\ell}$ für kleine Werte von α folgt für die Abhängigkeit der Intensität vom Abstand zum Hauptmaximum:

$$I_P \approx I_{max} \left(\frac{\sin\left(N\pi \frac{g \cdot x}{\lambda \cdot \ell}\right)}{N \sin\left(\pi \frac{g \cdot x}{\lambda \cdot \ell}\right)} \right)^2. \quad (3.11)$$

Reduziert sich die Anzahl der Spalte auf $N = 2$ (Doppelspalt) so erhält man mit dem Spaltabstand a und wegen $\sin(2\alpha) = 2 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha$:

$$I_P \approx I_{max} \left(\cos\left(\pi \frac{a \cdot x}{\lambda \cdot \ell}\right) \right)^2. \quad (3.12)$$

3.1.1.6 Intensitätsverteilung bei der Beugung am Einzelspalt

Bei der Beugung am Einzelspalt nimmt man eine unbegrenzte Anzahl von beliebig dicht in der Spaltöffnung zusammenliegenden Elementarwellen an. Betrachtet

man vorerst ein große Anzahl N von Elementarzentren, so besitzen zwei benachbarte Wellenstrahlen eine Phasenverschiebung von Φ , falls die Randstrahlen um Φ phasenverschoben sind. Damit folgt aus Gleichung 3.10:

$$I_{P_N} = I_{max} \left(\frac{\sin(\Phi/2)}{N \sin(\frac{\Phi}{2N})} \right)^2 = I_{max} \left(\frac{\sin \frac{\Phi}{2}}{\frac{\Phi}{2}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\frac{\Phi}{2N}}{\sin \frac{\Phi}{2N}} \right)^2. \quad (3.13)$$

Geht nun $N \rightarrow \infty$, so gilt $\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\Phi}{2N} = 0$ und damit (Regel von L'Hospital) $\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\frac{\Phi}{2N}}{\sin \frac{\Phi}{2N}} = 1$ Für die Intensität an Punkt P folgt dann mit $\Phi = 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\alpha)$ (d : Spaltbreite):

$$\lim_{N \rightarrow \infty} I_{P_N} = I_P = I_{max} \left(\frac{\sin \frac{\Phi}{2}}{\frac{\Phi}{2}} \right)^2 \approx I_{max} \left(\frac{\sin \left(\frac{\pi \frac{d \cdot x}{\lambda \cdot \ell}}{\pi \frac{d \cdot x}{\lambda \cdot \ell}} \right)}{\left(\frac{\pi \frac{d \cdot x}{\lambda \cdot \ell}}{\pi \frac{d \cdot x}{\lambda \cdot \ell}} \right)} \right)^2. \quad (3.14)$$

3.1.1.7 Intensitätsverteilung bei der Interferenz am Doppelspalt

Bei der Beschreibung der Intensitätsdiagramme für Gitter und Doppelspalt (Gleichungen 3.11 und 3.12) wurde bisher die Beugung an den einzelnen Spalten selbst vernachlässigt. Berücksichtigt man diese, so muss man die Maximalintensität I_{max} durch die Intensität I_P des Einzelspalters ersetzen. Für den Doppelspalt ergibt sich also:

$$I_P = I_{max} \left(\frac{\sin \frac{\Phi}{2}}{\frac{\Phi}{2}} \right)^2 \cdot \left(\cos \frac{\varphi}{2} \right)^2. \quad (3.15)$$

Mit $\varphi = 2\pi \frac{a}{\lambda} \sin(\alpha)$, $\Phi = 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\alpha)$ und $\sin \alpha \approx \frac{x}{\ell}$ für $\frac{x}{\ell} \ll 1$ erhält man in die Intensität auf dem Schirm in Abhängigkeit vom Abstand zum Hauptmaximum:

$$I_P \approx I_{max} \left(\frac{\sin \left(\frac{\pi \frac{d \cdot x}{\lambda \cdot \ell}}{\pi \frac{d \cdot x}{\lambda \cdot \ell}} \right)}{\left(\frac{\pi \frac{d \cdot x}{\lambda \cdot \ell}}{\pi \frac{d \cdot x}{\lambda \cdot \ell}} \right)} \right)^2 \cdot \left(\cos \left(\pi \frac{a \cdot x}{\lambda \cdot \ell} \right) \right)^2. \quad (3.16)$$

3.1.2 Allgemeines zum Versuchsaufbau, Messprinzipien und Auswertung

3.1.2.1 Versuchsaufbau

Für die qualitative oder quantitative Untersuchung von Interferenzerscheinungen an Spalt und Mehrfachspalt muss die Intensitätsverteilung in Abhängigkeit des Ortes bzw. des Winkels α zur optischen Achse gemessen werden. Die typische Messanordnung besteht dabei aus einer kohärenten Lichtquelle (z.B. ein Laser),

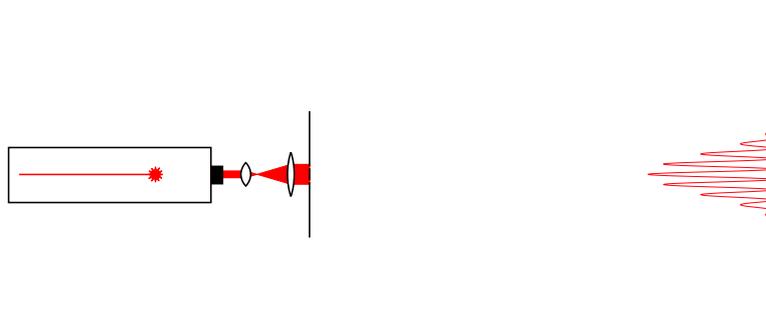


Abbildung 3.6: Versuchsaufbau für Interferenzversuche

dem Objekt (Spalt, Mehrfachspalt) und einem in möglichst weit vom Objekt entfernten, senkrecht zur optischen Achse stehenden Schirm (oder allgemein: Messgerät zur Bestimmung der Intensität). Ein zwischen Lichtquelle und Objekt platziertes Linsensystem kann zur Aufweitung des Lichtstrahles zur Beleuchtung räumlich ausgedehnter Objekte nötig sein.

Die Überlegungen zur Lage von Minima und Maxima des Interferenzmusters setzen voraus (s. Kap. 3.1.1.1), dass die vom Objekt ausgehenden Strahlenbündel parallel am Schirm auftreffen, beschreiben also die Verteilung der Intensität in unendlicher Entfernung (Fernfeld, Fraunhofer'sche Beugung). Im Nahfeld treffen Strahlenbündel nicht mehr parallel auf, man erhält die wesentlich schwieriger zu beschreibenden Fresnel'schen Beugungsmuster.

Beim Doppelspalt beträgt der Gangunterschied zweier paralleler Strahlen $\delta = a \cdot \sin \alpha$ (vgl. Kap. 3.1.1.2). Für den wahren Gangunterschied zweier sich im endlichen treffenden Lichtstrahlen liest man aus Abbildung 3.7 $\delta_{ex} = v - u = \frac{2ax}{v+u}$ ab. Mit $\sin \alpha = x/s$ erhält man

$$\frac{\delta}{\delta_{ex}} = \frac{u+v}{2s}. \quad (3.17)$$

Mit Hilfe der Dreiecksungleichung folgt (Abbildung 3.7) $u+v > 2s$, $v < s + \frac{1}{2}a$ und $v < s + \frac{1}{2}a$ und damit für den relativen Fehler

$$\frac{\delta - \delta_{ex}}{\delta_{ex}} < \frac{a}{2s}. \quad (3.18)$$

Man erkennt, dass der Fehler um so geringer wird, je größer der Lichtweg (und damit auch der Abstand zwischen Doppelspalt und Schirm) gegenüber dem Spaltabstand wird. Ein relativer Fehler von 0,01% würde so z.B. bei einem Spaltabstand

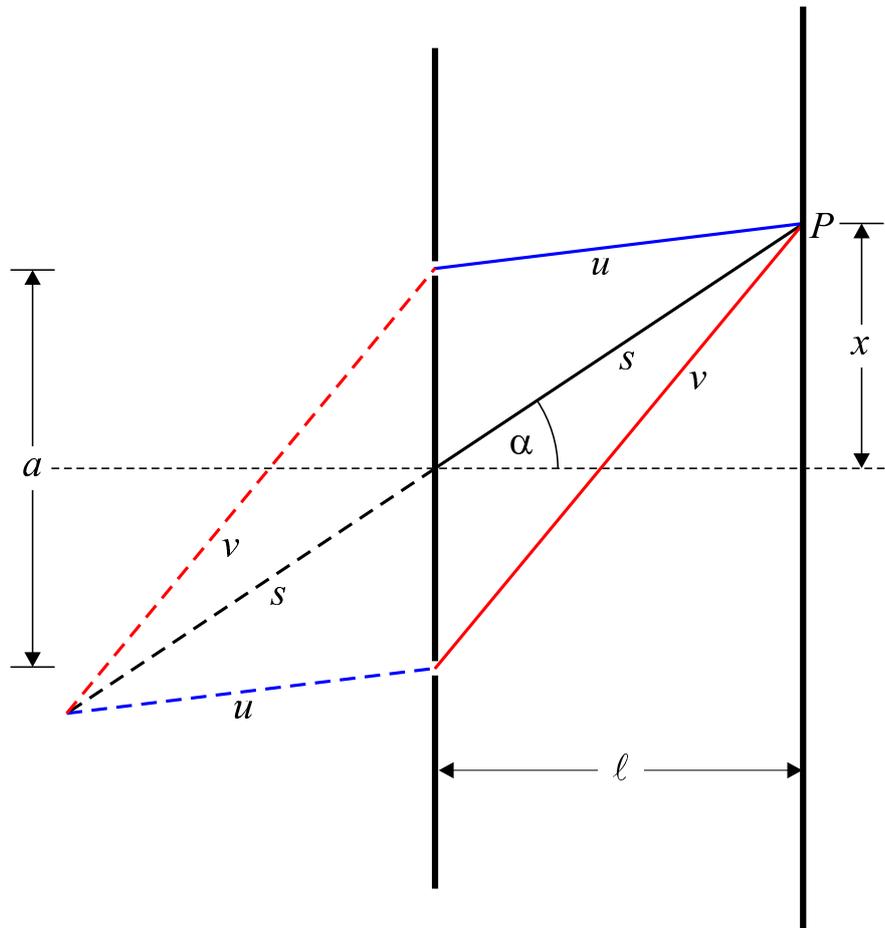


Abbildung 3.7: Gangunterschied zweier Strahlen

von $0,2\text{ mm}$ einen Abstand zum Schirm von ca. einem Meter erforderlich machen. Analoge Überlegungen lassen sich auch für die Gangunterschiede bei Gitter und Einzelspalt anstellen.

Um auch im Nahfeld Fraunhofer'sche Beugungsmuster beobachten zu können wird zur Korrektur zwischen Objekt und Schirm eine Sammellinse der Brennweite f eingefügt. Strahlenbündel, die unter dem Winkel α von Objekt ausgehen, also parallel zueinander verlaufen, schneiden sich dann in der Brennebene der Linse im Punkt P . Die Intensitätsverteilung entspricht dabei bis auf einen Skalenfaktor der Verteilung in unendlicher Entfernung.

3.1.2.2 Messprinzipien

Der Winkel α kann direkt bestimmt werden oder, was in den meisten Fällen leichter realisierbar ist, durch die Messung des Abstandes x zwischen der optischen

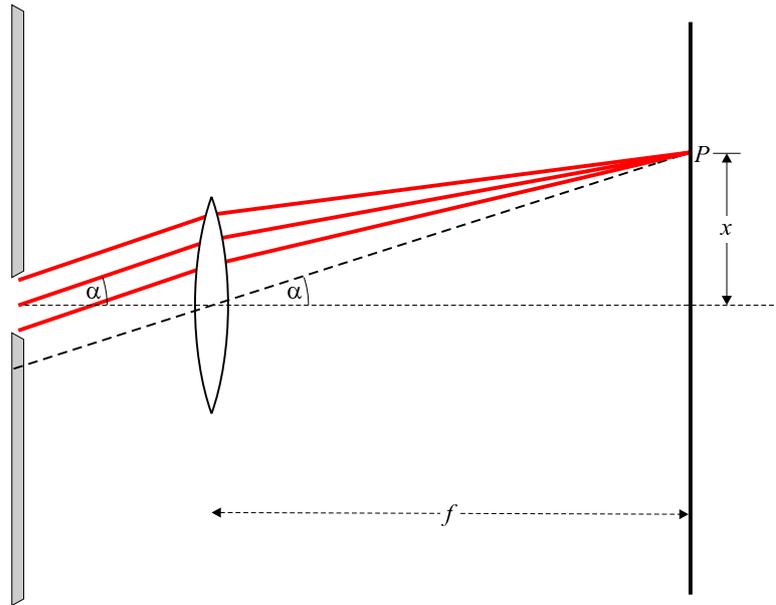


Abbildung 3.8: Fraunhofer'sche Beugungsmuster im Nahfeld

Achse und dem Punkt P auf dem Schirm. Dabei erhält man für α die Beziehung $\tan(\alpha) = \frac{x}{\ell}$ (ℓ : Entfernung Objekt - Schirm, s. z.B. Abbildung 3.2) bzw. bei Verwendung der Korrekturlinse mit der Brennweite f (s. Kap. 3.6) $\tan(\alpha) = \frac{x}{f}$.

Der Messung von x kann dabei direkt (über eine Skala auf dem Schirm oder auch über den CCD-Chip einer stationären Digitalkamera) oder indirekt (z.B. Widerstands- bzw. Spannungsmessung an einstellbaren Spannungsteilern aber auch durch Nutzung von Inkrementalgeber oder Ultraschall-Bewegungssensoren) geschehen.

Die zu jedem Wert von α gehörende Intensität des Interferenzmusters lässt sich unter Ausnutzung linearer Zusammenhänge zwischen Spannung und Intensität, Widerstand und Intensität oder Ladung und Intensität (z.B. Fotodiode/-element, oder -widerstand bzw. CCD-Chip) bestimmen.

3.1.2.3 Auswertung

Generell gibt es mehrere Möglichkeiten, um aus den gewonnenen Messdaten die gesuchten Werte für Spaltbreite bzw. Gitterkonstante oder Wellenlänge des Lasers zu extrahieren.

Eine Methode besteht darin, allein die Positionen und Ordnungen der Intensi-

tätsmaxima / -minima in Verbindung mit Gleichung 3.1, 3.4 oder 3.5 zu verwenden um das Ergebnis direkt zu berechnen. Zusätzlich lässt sich auch die lineare Beziehung zwischen $\sin \alpha$ und der Ordnung des Extremums (n) ausnutzen, die Steigung des zugehörigen Graphen ($\sin \alpha$ gegen n) liefert den Wert $\frac{\lambda}{d}$.

Besitzt man dagegen hochaufgelöste Werte der Intensität in Abhängigkeit des Winkels α , so besteht die Möglichkeit, über eine Anpassung der Gleichungen 3.14 oder 3.15 direkt die gesuchten Variablen zu bestimmen.

3.1.2.4 Messfehler

Unabhängig von der Messeinrichtung selbst birgt der Grundaufbau des Versuchs die Gefahr systematischer Fehler. Neben den in Kap. 3.1.2.1 beschriebenen, aus der endlichen Entfernung zwischen Objekt und Schirm, resultierenden Ungenauigkeiten sind dies vor allem durch Schiefstellung von Beugungsobjekt und Schirm verursachte Fehler. Durch eine Winkeldifferenz von β zur Senkrechten (zur optischen Achse) erscheint dadurch der Spalt um den Faktor $\cos \beta$ schmaler, das Interferenzmuster auf dem Schirm bei entsprechender Abweichung um den Faktor $1/\cos \beta$ verbreitert.

Weitere zu beachtende Unsicherheiten sind fehlerhafte Messungen oder Angabe von Abständen (Objekt-Schirm oder Linse-Schirm) und Spaltbreite bzw. Gitterkonstante ebenso wie Linsenfehler und Interferenzeffekte an den Linsen – insbesondere der Korrekturlinse für Beobachtungen im Nahfeld – die das Interferenzmuster verzerren können.

3.2 Visuelle Messung

Die technisch am wenigsten aufwändige Methode zur Erfassung von Interferenzmustern ist die „visuelle“ Messung. Als Hilfsmittel dienen dabei lediglich ein Lineal und das Auge, daher können nur die Positionen der Minima und Maxima bestimmt werden. Quantitative Aussagen über die Intensität sind nicht möglich.

Je nach Vorgaben und Aufgabenstellung können entweder die Spaltbreite oder die Wellenlänge der verwendeten Lichtquelle bestimmt werden.

3.2.1 Messprinzip

Die Lage der Intensitätsmaxima und -minima wird visuell in Abhängigkeit des Abstands x zum Hauptmaximum bestimmt (vgl. Kap. 3.1.2.2).

3.2.2 Material

- Laser (z.B. He-Ne-Laser)
- Beugungsobjekt (z.B. Spalt, Doppelspalt) mit Objekthalter
- Stativmaterial, optische Bank, Reiter
- Kugellinse $f = +5 \text{ mm}$
- Linse $f = +50 \text{ mm}$
- Schirm
- Papier, Bleistift

3.2.3 Versuchsaufbau

Der Halter für das Beugungsobjekt wird senkrecht zum Strahlengang hinter dem Laser und vor dem Schirm platziert. Dabei sollte der Abstand ℓ zwischen Schirm und Objekthalter möglichst groß sein. Abhängig vom Objekt muss der Laserstrahl noch mit Hilfe der Linsen aufgeweitet werden. Dazu wird die Kugellinse in ca. 0,5 cm Entfernung zum Laser aufgestellt. Die zweite Linse ($f = +50 \text{ mm}$) wird im Abstand ihrer Brennweite so positioniert (siehe Kap. 3.1.2.1), dass man einen

mehrere Millimeter durchmessenden Laserstrahl mit konstantem Durchmesser erhält. Ein Blatt Papier wird auf dem Schirm befestigt.

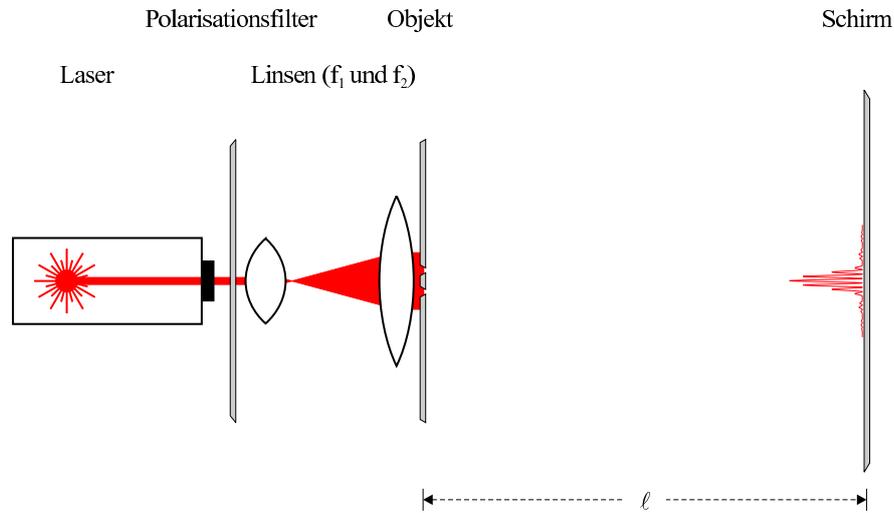


Abbildung 3.9: Versuchsaufbau

3.2.4 Versuchsdurchführung

Nach Einsetzen des Objektes in den Halter kann die Stellung der zweiten Linse bei Bedarf korrigiert werden bis das Beugungsbild scharf auf dem Schirm abgebildet ist. Die Positionen der Maxima und Minima auf beiden Seiten des Hauptmaximums können nun auf dem Papier markiert und ausgemessen werden.

Da sich das Interferenzmuster eines Mehrfachspaltes aus denen von Einzelspalt und idealem Mehrfachspalt (siehe Kap. 3.1.1.7) zusammensetzt, empfiehlt es sich in diesem Falle, die Lage der jeweiligen Intensitätsextrema getrennt zu bestimmen. Dazu werden in einem zweiten Schritt alle bis auf einen Spalt abgedeckt, um die Einzelspaltmaxima und -minima identifizieren zu können.

3.2.5 Auswertung

Aus den Abständen x der Extrema von der optischen Achse werden die zugehörigen Winkel α bzw. ihr Sinus berechnet. Es gilt (siehe Kap. 3.1.1.2 und Abbildung 3.2):

$$\sin \alpha = \sin \left(\arctan \left(\frac{x}{\ell} \right) \right) \approx \tan \alpha = \frac{x}{\ell} \quad (\text{für } \alpha \ll 1) \quad (3.19)$$

Die Auswertung der Messwerte erfolgt getrennt für die Einzelspalt- und die Gitterkomponenten des Interferenzmusters. Über die Zuordnung von Ordnungszahl und Lage ($\sin \alpha$) der Einzelspaltminima können die Wellenlänge λ oder die Spaltbreite d berechnet werden (siehe Kap. 3.1.2.3).

Zur Bestimmung von Spaltabstand a bzw. Gitterkonstante g werden die Maxima zwischen den ersten Dunkelstellen des Einzelspalt herangezogen, da in der Regel nur dort die Ordnung zweifelsfrei bestimmt werden kann.

3.2.6 Stärken und Schwächen

Aufbau und Durchführung

Die Stärken dieses Versuchsaufbaus liegen in seiner Simplizität. Er kann ohne weitere technische Hilfsmittel aufgebaut und durchgeführt werden und ist zudem noch (bei der Benutzung eines Laserpointers als Lichtquelle) der Kategorie der LowCost-Versuche zuzuordnen und eignet sich damit prinzipiell als Schülerversuch.

Bei der Durchführung des Versuches selbst treten jedoch Probleme auf. So kann die Lage der Intensitätsmaxima und -minima aufgrund der fehlenden Helligkeit nur schlecht direkt abgelesen werden, selbst für den Fall, dass auf dem Schirm eine Skala angebracht ist. Das bedeutet, dass die Positionen erst auf dem Schirm markiert und nachträglich ausgemessen werden müssen. Zusätzlich wird dies dadurch erschwert, dass der Messende im Bereich zwischen Beugungsobjekt und Schirm arbeiten muss, will er nicht einen Helligkeitsverlust durch die Verwendung eines Transparentschirms in Kauf nehmen. Dadurch besteht die theoretische Gefahr einer Verletzung des Auges durch den Laserstrahl, da keine Laserschutzbrille getragen werden kann.

Ein weiterer Negativpunkt ist der relativ große Zeitaufwand, der für Messung und auch Auswertung benötigt wird.

Messgenauigkeit

Die Messung der Position der Interferenzextrema ist nicht nur in ihrer Ausführung problematisch, sondern birgt auch große Fehlerquellen. Gerade bei der Verwen-

dung sehr dünner Spalte erhält man sehr breite Beugungsbilder bei einer relativ schwachen Intensität, was zum einen die Erkennung selbst, zum anderen aber auch die genaue Ermittlung des Mittelpunktes des Minimums bzw. Maximums erschwert. Insbesondere Fehler bei der Bestimmung der Lage des Hauptmaximums sind dabei kritisch, da dieses als Referenzmesspunkt genutzt wird. Eine Fehlmessung dieses Punktes wirkt sich insbesondere auf die Messung der Abstände x_i der Extrema niedriger Ordnung aus (relativer Fehler $\frac{\Delta x_0}{x_i}$) und pflanzt sich wegen $\sin \alpha \approx \tan \alpha$ für $\alpha \ll 1$ linear in das Endergebnis (Wellenlänge oder Spaltbreite bzw. Gitterkonstante) fort.

Auswertung

Obwohl eine manuelle oder sogar grafische Auswertung der Messdaten nicht unmöglich ist, bietet sich natürlich auch die elektronische Datenverarbeitung an. Dabei müssen die Messergebnisse allerdings erst in digitale Form gebracht werden, was insbesondere die zeitnahe Auswertung erschwert.

3.3 Modulare Interfacesysteme und LowCost Interfaces

3.3.1 Allgemeines zu Messprinzip und Versuchsaufbau

3.3.1.1 Messprinzip

Die Intensität des Interferenzmuster soll in Abhängigkeit des Abstands zur optischen Achse aufgenommen werden.

Die Computerunterstützten Messwerterfassungssystem-Familien CASSY-S/CASSY Lab, Cobra3/Measure und CoachLab II⁺/Coach 6 bieten eine Reihe von Sensoren und Methoden zur Erfassung von Ortsdaten bzw. zum Messen von Strecken (siehe Tab. 3.1). Diese Lösungen sind natürlich speziell auf die jeweiligen Systeme

Sensor / Modul	Messprinzip	Auflösung	System
Stromquellen-Box (524 031) mit Wegaufnehmer (529 031)	Widerstandsmessung	0,1 mm	CASSY-S/ CASSY Lab
Drehbewegungssensor S (524 082)	Inkrementalgeber	0,08 mm	
Bewegungsaufnehmer (337 631) mit BMW-Box (524 032)	Inkrementalgeber	0,5 mm	
Bewegungsaufnehmer (12004.10)	Inkrementalgeber	1 mm	Cobra3/Measure
Motion Detector (0664)	Ultraschallsensor	1 mm	CoachLab II ⁺ / Coach 6
Photogate w. Pulley Attachment (0662i)	Inkrementalgeber	20 mm	

Tabelle 3.1: Ausgewählte Sensoren zur Positionsbestimmung

zugeschnitten und auch nur damit nutzbar. Weiterhin unterscheiden sie sich sehr in Messgenauigkeit und Auflösungsvermögen. Um eine direkte Vergleichsmöglichkeit der Systeme zu gewährleisten wurde insbesondere im Hinblick auf die Nutzung des LowCost Interfaces XLSmess ein neues, systemunabhängiges Verfahren entwickelt, bei dem Positionsbestimmung über die Messung des Spannungsabfalls an einem senkrecht zur optischen Achse gespannten Konstantendrahtes erfolgt.

Da für den elektrischen Widerstand R eines Metallischen Leiters der Länge l und des Querschnitts A gilt:

$$R \sim l \quad \text{und} \quad R \sim A,$$

und in einer Reihenschaltung von Widerständen die Spannungsabfälle proportional zu den Widerständen sind, an denen sie abfallen ($U \sim R$), folgt für die an

einem Draht mit konstantem Durchmesser abgegriffene Spannung:

$$U \sim l.$$

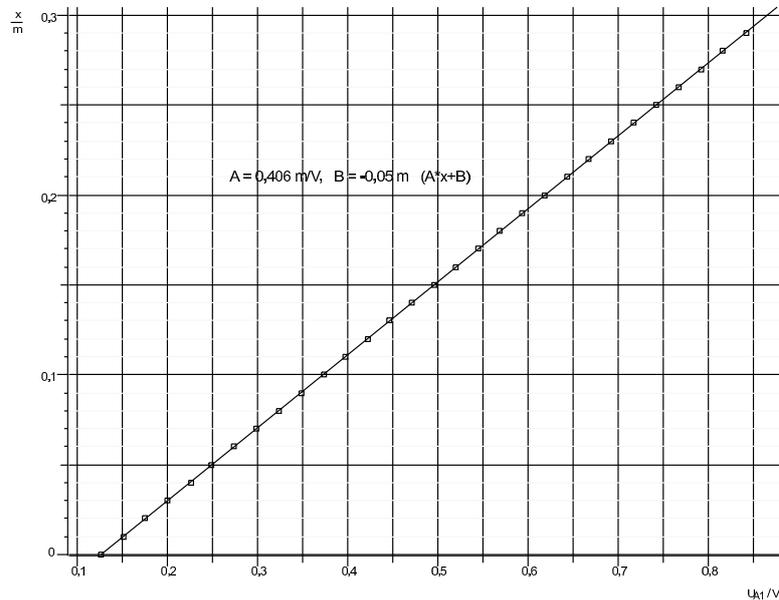


Abbildung 3.10: Zur Positionsbestimmung: $U \sim l$

(gemessen mit CASSY-S/CASSY Lab)

Zur Messung der Intensität können insbesondere Halbleiterbauteile verwendet werden (siehe auch Kapitel 3.1.2.2). Eine Möglichkeit besteht dabei in der Nutzung systemspezifischer Sensoren, z.B. zur Bestimmung der Beleuchtungsstärke (Lux-Box (524 051) mit Luxsensor (666 243) für CASSY-S/CASSY Lab oder Lux-Modul (12107.00) mit Luxmeter-Sonde (12107.01) für Cobra3/Measure). Als Alternative dazu wurde in den hier beschriebenen Versuchen wiederum ein systemunabhängiges Verfahren gewählt, bei dem die Intensität mittels einer Fotodiode (BPW24) bestimmt wird. Diese kann üblicherweise in 2 unterschiedlichen Arten genutzt werden.

1. In Sperrrichtung fließt durch die Fotodiode ein Sperrstrom (Fotostrom), der bei konstanter Wellenlänge sich linear zur Helligkeit des einfallenden Lichtes verhält.
2. In Durchlassrichtung funktioniert die Fotodiode als Fotoelement. Die gemessene Leerlaufspannung verhält sich dabei in weiten Bereichen nahezu linear zur Beleuchtungsstärke.

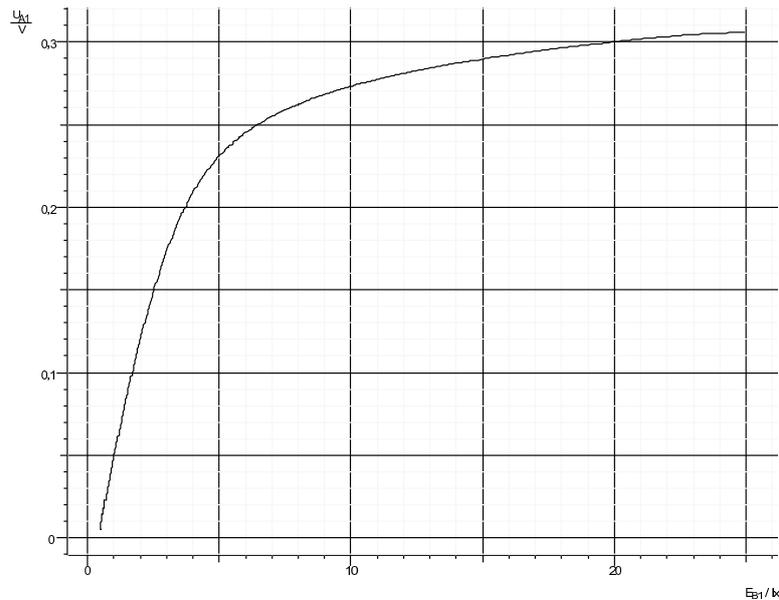


Abbildung 3.11: Zur Bestimmung der Intensität:
Zusammenhang zwischen Leerlaufspannung und
Beleuchtungsstärke (gemessen mit CASSY-S/CASSY
Lab)

Die Messung des Fotostroms besitzt dabei den Vorteil der geringen Reaktionszeit und der ausgeprägten Linearität, da allerdings zum einen der Fotostrom sehr gering ist und zum anderen eine externe Spannungsquelle benötigt wird, wurde dem Betrieb als Fotoelement der Vorzug gegeben. Während der Messung muss allerdings sichergestellt werden, dass die Beleuchtungsstärke so gering gewählt wird, dass der lineare Zusammenhang zur gemessenen Spannung bestehen bleibt (siehe Abbildung 3.11).

3.3.1.2 Versuchsaufbau

Der Grundaufbau zur Messung der Intensitätsverteilung gestaltet sich für alle verwendeten Systeme gleich und baut auf dem der visuellen Messung (siehe Kapitel 3.2.3) auf:

Der Halter für das Beugungsobjekt wird senkrecht zum Strahlengang hinter dem Laser und vor dem Schirm platziert. Dabei sollte der Abstand ℓ zwischen Schirm und Objekthalter möglichst groß sein. Abhängig vom Objekt muss der Laserstrahl noch mit Hilfe der Linsen aufgeweitet werden. Dazu wird die Kugellinse

in ca. 0,5 cm Entfernung zum Laser aufgestellt. Die zweite Linse ($f = +50 \text{ mm}$) wird im Abstand ihrer Brennweite so positioniert (siehe Kap. 3.1.2.1), dass man einen mehrere Millimeter durchmessenden Laserstrahl mit konstantem Durchmesser erhält. Zur Intensitätseinstellung wird zusätzlich noch ein Polarisationsfilter zwischen Laser und erster Linse verwendet.

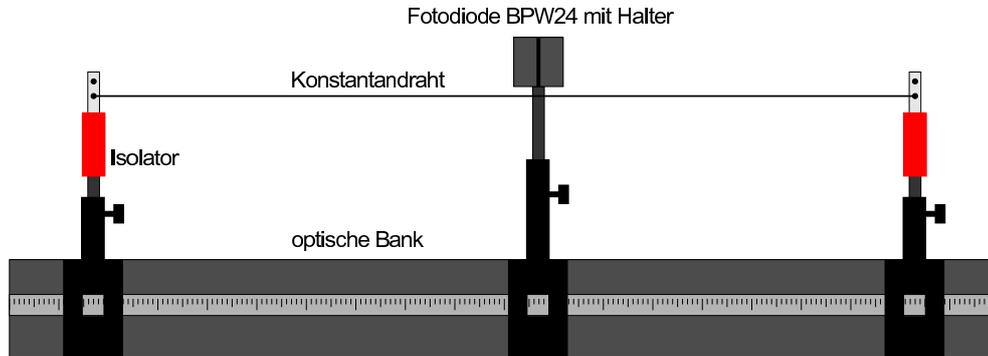


Abbildung 3.12: Zur Positionsbestimmung des Sensors

Nach der Justierung des Laserstrahls (vgl. z.B. Kapitel 3.3.2.3) wird der Schirm durch eine kurze optische Bank ersetzt, an deren Enden sich Isolatoren befinden, zwischen denen ein Konstantandraht gespannt wird. Die Fotodiode wird mit dunklen Papierstreifen bis auf einen ca. 1 mm breiten Spalt abgeklebt und mit Hilfe des Halters so in der Mitte der Bank platziert, dass die Metallstange des Halters den Draht gerade berührt (siehe Abbildung 3.12). Kennt man nun den Spannungsabfall $U(x)$ an zwei verschiedenen Orten x_1 und x_2 , gilt für die Position der Fotodiode in Abhängigkeit von U :

$$x(U) = \frac{x_2 - x_1}{U(x_2) - U(x_1)} * (U - U(x_1)) - x_1. \quad (3.20)$$

3.3.2 Cassy-S/Cassy Lab

3.3.2.1 Material

Messwerterfassungssystem: Hardware

- Sensor-CASSY

Messwerterfassungssystem: Software

- Cassy Lab

Sonstiges Versuchsmaterial

- Laser (z.B. He-Ne-Laser)
- Polarisationsfilter
- Beugungsobjekt (z.B. Spalt, Doppelspalt) mit Objekthalter
- optische Bank, Reiter, Halter für Steckelement, Isolatoren
- Kugellinse $f_1 = +5 \text{ mm}$
- Linse $f_2 = +50 \text{ mm}$
- Fotodiode (BPW24)
- Konstantandraht
- DC Netzgerät
- Experimentierkabel

3.3.2.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau erfolgt wie in Kapitel 3.3.1.2 beschrieben.

Die Anschlüsse der Fotodiode werden mit dem Spannungseingang A, ein Isolator und der (metallene) Halter der Diode mit dem Eingang B der Sensor-Cassy verbunden (siehe Abbildung 3.13). An die Isolatoren wird eine Spannung von ca. 1 V gelegt.

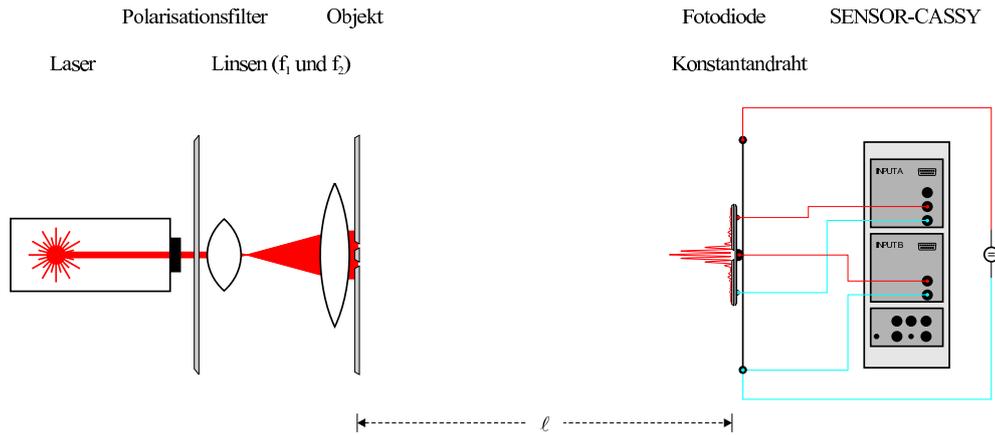


Abbildung 3.13: Versuchsaufbau mit dem System CASSY-S/CASSY Lab

3.3.2.3 Versuchsdurchführung

Nach Einsetzen des Objektes in den Halter kann die Stellung der zweiten Linse bei Bedarf korrigiert werden bis das Beugungsbild scharf auf dem Schirm abgebildet wird. Nun folgt (bei abgeschaltetem Laser) der Tausch von Schirm und optischer Bank mit Fotodiode und die Messung des Abstandes l .

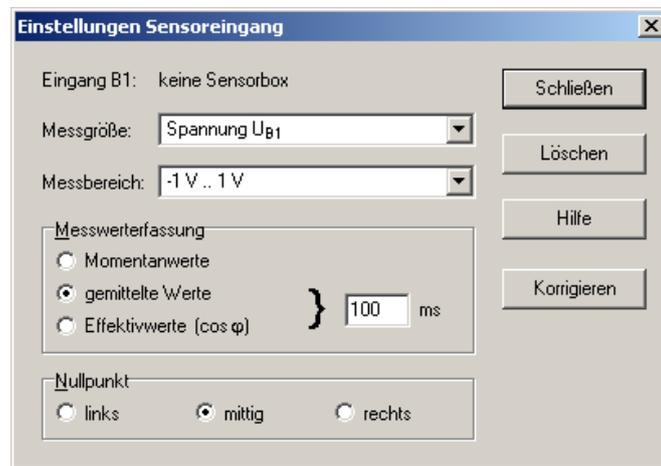


Abbildung 3.14: Die Einstellungen des Sensoreingangs U_{B1} (Quelle: Hund und Wietzke, 2007)

Als nächster Schritt muss CASSY Lab gestartet und im Einstellungsfenster (siehe Abbildung 2.4) die Messkanäle durch Klick mit der linken Maustaste ausgewählt und konfiguriert werden: Als Messbereich empfiehlt sich dabei für diesen

Aufbau $-0,3 \text{ V} \dots 0,3 \text{ V}$ am Eingang A bzw. $-1 \text{ V} \dots 1 \text{ V}$ am Eingang B, außerdem sollte die Option zur Erfassung gemittelter Werte (Mittelungszeitraum: 100 ms) genutzt werden.

Zur Kalibrierung des „Ortssensors“ wird die Fotodiode auf ihrem Reiter an zwei möglichst weit auseinanderliegende Orte (x_1, x_2) auf der optischen Bank verschoben und der jeweils zugehörige Spannungsabfall ($U(x_1), U(x_2)$) am Anzeigeelement („Spannung U_{B1} “) abgelesen. Im Einstellungsfenster kann dann im Tab „Parameter/Formel/FFT“ eine neue Größe erstellt werden, die Eingabe von „ $(x_2-x_1)/(U(x_2)-U(x_1))*(U_{B1}-U(x_1))-x_1$ “ (siehe auch Abbildung 3.15 und Gleichung 3.20)) bewirkt die Umrechnung des gemessenen Spannungsabfalls in die Ortsangabe.

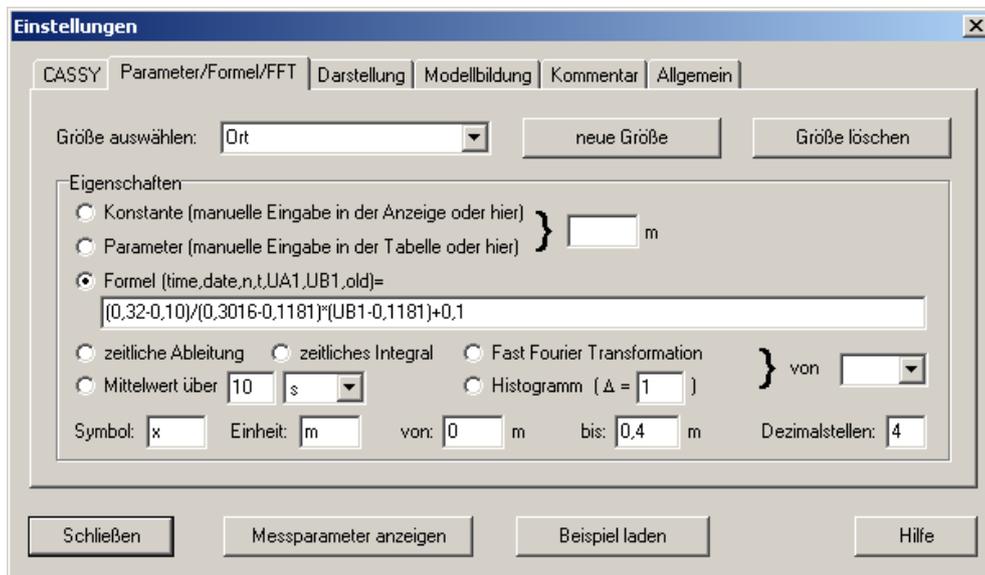


Abbildung 3.15: Beispiel zur Kalibrierung des „Ortssensors“ (Quelle: Hund und Wietzke, 2007)

Das Messintervall zur Aufnahme der Messdaten (einzustellen im Messparameter-Fenster) muss aufgrund der verwendeten Mittelung mindestens 100 ms betragen. Die Felder für die Anzahl, Gesamtmesszeit bzw. Trigger bleiben dabei leer, die Messung wird über den Speed-Button oder „F9“ gestartet und gestoppt. Um keine unnötigen Messwerte aufzunehmen kann allerdings der räumliche Bereich der Messdatenaufnahme durch Eingabe einer Messbedingung begrenzt werden (siehe Abbildung 3.16).

Nach dem Einschalten des Lasers muss zunächst die Intensität des Lichtes

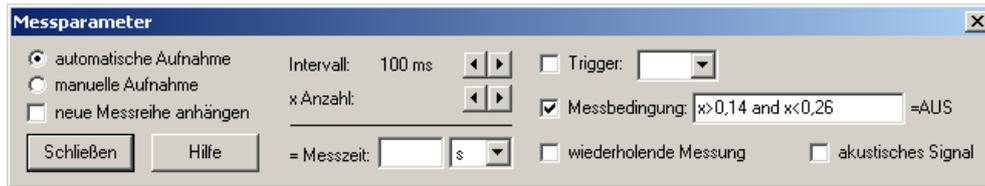


Abbildung 3.16: Die Einstellungen im Messparameter-Fenster (Quelle: Hund und Wietzke, 2007)

eingestellt werden. Dafür wird die Fotodiode im Hauptmaximum des Interferenzmusters platziert und durch Drehung des Polarisationsfilters deren maximale Leerlaufspannung auf 0,1 V begrenzt. Die Diode wird nun außerhalb des in den Messbedingungen angegebenen Bereichs positioniert und nach dem Start der Messung (F9) langsam durch diesen hindurchgeschoben bis die Aufnahme der Messwerte endet. Jetzt kann der Messvorgang mit „F9“ wieder gestoppt werden.

3.3.2.4 Auswertung

Die Auswertung der Messdaten erfolgt am elegantesten mit Hilfe der Funktion „Freie Anpassung“ („ALT + F“). Dies erlaubt die Anpassung der theoretischen Intensitätsverteilungen an die experimentell bestimmten Werte. Im entsprechenden Einstellungsfenster (siehe Abbildung 3.17) muss zunächst die anzupassende Funktion eingegeben werden. Diese ergibt sich für Spalt und Doppelspalt aus den Gleichungen 3.14 und 3.16.

Die Ermittlung der Spaltbreite eines Einzelspaltes macht so z.B. die Eingabe von

$$A * (\sin(180 * B / 0,0000006328 * (x - C) / 2,66) / (180 * B / 0,0000006328 * (x - C) / 2,66)) ^ 2 + D$$

nötig. Dabei wird die Wellenlänge und der Abstand ℓ als bekannt vorausgesetzt (hier: $\lambda = 632,8 \text{ nm}$, $\ell = 2,66 \text{ m}$). Der Parameter A steht dabei für die Intensität I_{max} , B für die Spaltbreite, C für die Position des Hauptmaximums und D für einen möglicherweise auftretenden Offset. Für alle Parameter muss ein sinnvoller Startwert angegeben werden, danach ist die Markierung des für die Anpassung einzubeziehenden Bereiches möglich. Das Ergebnis der Berechnung (deren Länge durch die Eingabe der maximal erlaubten Ausführungszeit begrenzt werden kann)

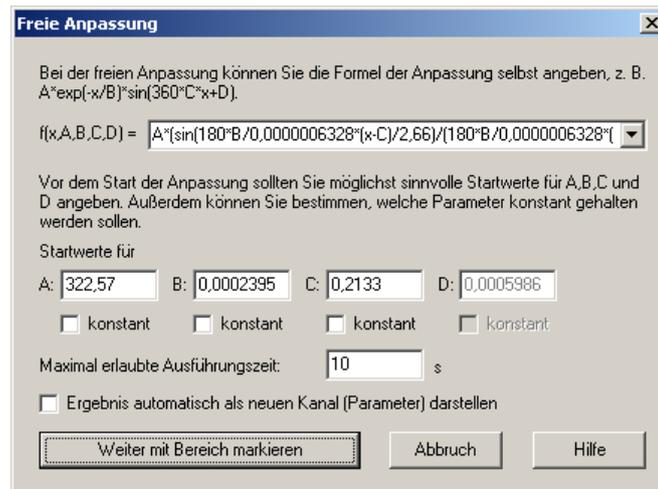


Abbildung 3.17: Die Anpassung der theoretischen Intensitätsverteilungen an die experimentell bestimmten Werte (Quelle: Hund und Wietzke, 2007)

erscheint in der Statuszeile, die aus den Werten resultierende Kurve kann sowohl als Auswertung wie auch als neue Kurve in das Diagramm eingetragen werden.

In einigen Fällen ist die „Freie Anpassung“ jedoch nicht möglich, z.B. wenn die Intensitätseinstellung zu Beginn des Versuchs nicht erfolgte und die Leerlaufspannung der Fotodiode den zur Beleuchtungsstärke proportionalen Bereich überschreitet. Alternativ kann die Auswertung dann manuell erfolgen.

Für eine Untersuchung des Beugungsmusters eines Einzelspaltes muss zunächst mit der Funktion „Peakschwerpunkt berechnen“ die genaue Lage des Hauptmaximums bestimmt werden. Mit Hilfe dieses Wertes kann nun die Ortskalibrierung so korrigiert werden, dass der Nullpunkt genau auf der optischen Achse liegt. Als nächstes werden im Reiter „Parameter/Formel/FFT“ des Einstellungsfenster die neuen Größen n und $x_{Minimum}$ (Ordnung und Lage der Minima) zur manuellen Eingabe und die Größe $\sin(\alpha)$ durch die Formel „ $x_{Minimum}/\ell$ “ definiert. Diese neuen Größen werden auf einer neuen Darstellung platziert (x-Achse: n , y-Achsen: $x_{Minimum}$ und $\sin(\alpha)$). Die Lage der Minima kann nun mit der Funktion „Koordinaten anzeigen“ („ALT + K“) abgelesen und in die Tabelle der neuen Darstellung eingetragen werden. Dabei werden den Ordnungen der Minima mit negativer Ortskoordinate negative Vorzeichen zugewiesen. Durch Anpassung ei-

ner Ausgleichsgeraden an den Graphen $\sin(\alpha)$ gegen n erhält man den Wert $\frac{\sin(\alpha)}{n}$, mit dem schließlich die Spaltbreite bzw. die Wellenlänge berechnet werden kann (siehe Kapitel 3.1.2.3).

Für die Untersuchung von Mehrfachspalten in Verbindung mit einer manuellen Auswertung empfiehlt sich die zusätzlich Aufnahme des Beugungsmuster des Einfachspaltes (siehe auch Kapitel 3.2.4). Außerdem kann auf die Justierung des Polarisationsfilters verzichtet werden, da ausschließlich die Position der Extrema von Interesse ist.

3.3.2.5 Messbeispiel

Untersucht wurde das Interferenzmuster eines Doppelspaltes mit der Spaltbreite $d = 0,12$ mm und dem Spaltabstand $a = 0,6$ mm, der Abstand ℓ zwischen Doppelspalt und Sensor betrug $2,66$ m. Verwendet wurde ein Helium-Neon-Laser (Wellenlänge $\lambda = 632,8$ nm).

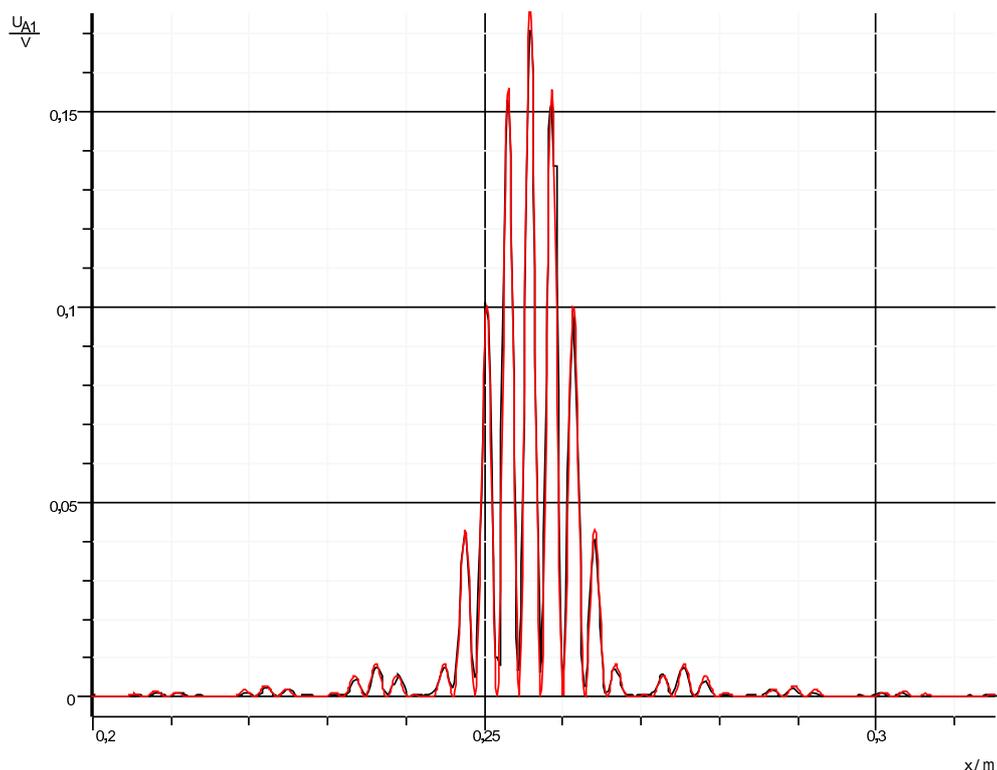


Abbildung 3.18: Intensitätsverteilung bei der Interferenz am Doppelspalt ($d = 0,12$ mm, $a = 0,6$ mm; schwarz: Messkurve; rot: Kurvenfit), gemessen mit CASSY-S/CASSY LabCASSY Lab

Zur Berechnung der Wellenlänge aus den Messdaten (Spaltbreite und -abstand

werden als bekannt vorausgesetzt) wird die Funktion „Freie Anpassung“ genutzt. Dabei lautet die einzugebende Funktionsvorschrift:

$$A * (\sin(180 * 0,00012 / B * (x - C) / 2,6645) / (180 * 0,00012 / B * (x - C) / 2,6645))^2 * (\sin(2 * 180 * 0,0006 / B * (x - C) / 2,66) / \sin(180 * 0,0006 / B * (x - C) / 2,66))^2$$

Aus der Ausgabe in der Statuszeile

$$A = 145,68, \quad B = 0,0000006335, \quad C = 0,2558 \quad [\dots] \quad r = 0,9904$$

liest man einen Wert von $\lambda_{exp} = 633,5$ nm ab. Bei der Angabe $r = 0,9904$ handelt es sich vermutlich (im Programm werden keine näheren Angaben gemacht) um den Korrelationskoeffizienten, der einen sehr großen positiven Zusammenhang zwischen angepasster Funktion und den Messwerten andeutet.

3.3.3 Cobra3/Measure

3.3.3.1 Material

Messwerterfassungssystem: Hardware

- BASIC-UNIT

Messwerterfassungssystem: Software

- Measure
- Software-Modul PowerGraph

Sonstiges Versuchsmaterial

- Laser (z.B. He-Ne-Laser)
- Polarisationsfilter
- Beugungsobjekt (z.B. Spalt, Doppelspalt) mit Objekthalter
- optische Bank, Reiter, Halter für Steckelement, Isolatoren
- Kugellinse $f_1 = +5 \text{ mm}$
- Linse $f_2 = +50 \text{ mm}$
- Fotodiode (BPW24)
- Konstantendraht
- DC Netzgerät
- Experimentierkabel

3.3.3.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau erfolgt wie in Kapitel 3.3.1.2 beschrieben.

Die Anschlüsse der Fotodiode werden mit dem Eingang „Analog In 2“, ein Isolator und der (metallene) Halter der Diode mit dem Eingang „Analog In 1“ der BASIC-UNIT verbunden (siehe Abbildung 3.19). An die Isolatoren wird eine Spannung von ca. 5 V gelegt.

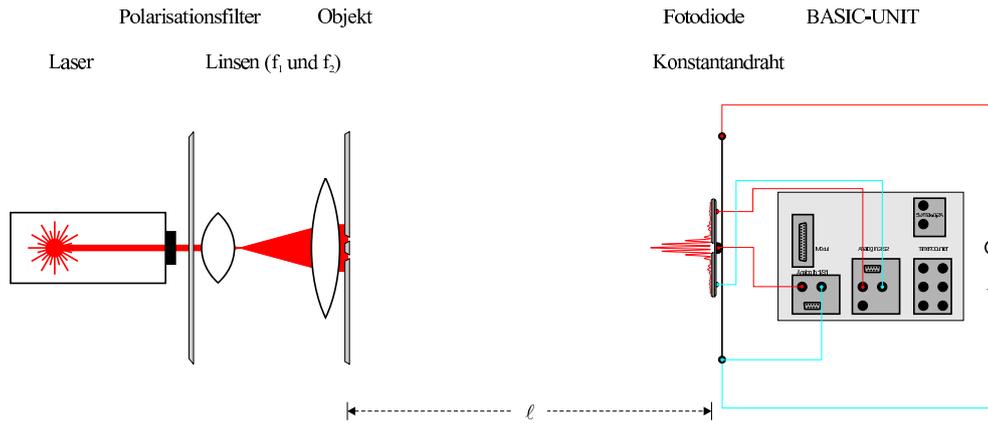


Abbildung 3.19: Versuchsaufbau mit dem System Cobra3/Measure

3.3.3.3 Versuchsdurchführung

Nach Einsetzen des Objektes in den Halter kann die Stellung der zweiten Linse bei Bedarf korrigiert werden bis das Beugungsbild scharf auf dem Schirm abgebildet wird. Nun folgt (bei abgeschaltetem Laser) der Tausch von Schirm und optischer Bank mit Fotodiode und die Messung des Abstandes ℓ .

Als nächster Schritt muss zuerst Measure gestartet und das Messgerät PowerGraph ausgewählt werden. Im zugehörigen Einstellungsfenster (siehe Abbildung 3.20) werden die Messkanäle durch Klick mit der linken Maustaste aktiviert und konfiguriert: Als Messbereich empfiehlt sich dabei für diesen Aufbau 0,1 V am Eingang „Analog In 2“ bzw. 10 V am Eingang „Analog In 1“, außerdem sollte die Option zur Erfassung gemittelter Werte genutzt werden. Die Digitalanzeigen werden durch Setzen des Häkchens im entsprechenden Optionsfeld eingeblendet.

In einem ersten Schritt wird durch einen Klick auf die Schaltfläche „Weiter“ das Messfenster geöffnet. Zur Kalibrierung des „Ortssensors“ wird die Fotodiode auf ihrem Reiter an zwei möglichst weit auseinanderliegende Orte (x_1 , x_2) auf der optischen Bank verschoben und der jeweils zugehörige Spannungsabfall ($U(x_1)$, $U(x_2)$) am Anzeigeelement („Spannung U1“) abgelesen. Die Messung wird daraufhin wieder abgebrochen (Klick auf „Abbruch“ im Messaufnahmefenster, siehe Abbildung 2.13). Nach dem erneuten Start des Moduls PowerGraph kann dann mit diesen Informationen ein „Virtuelles Messgerät“ erstellt werden. Dazu genügt ein Klick mit der rechten Maustaste auf die schematische Darstellung der BASIC-UNIT. Durch die Auswahl von „Messgerät hinzufügen...“ im erscheinenden

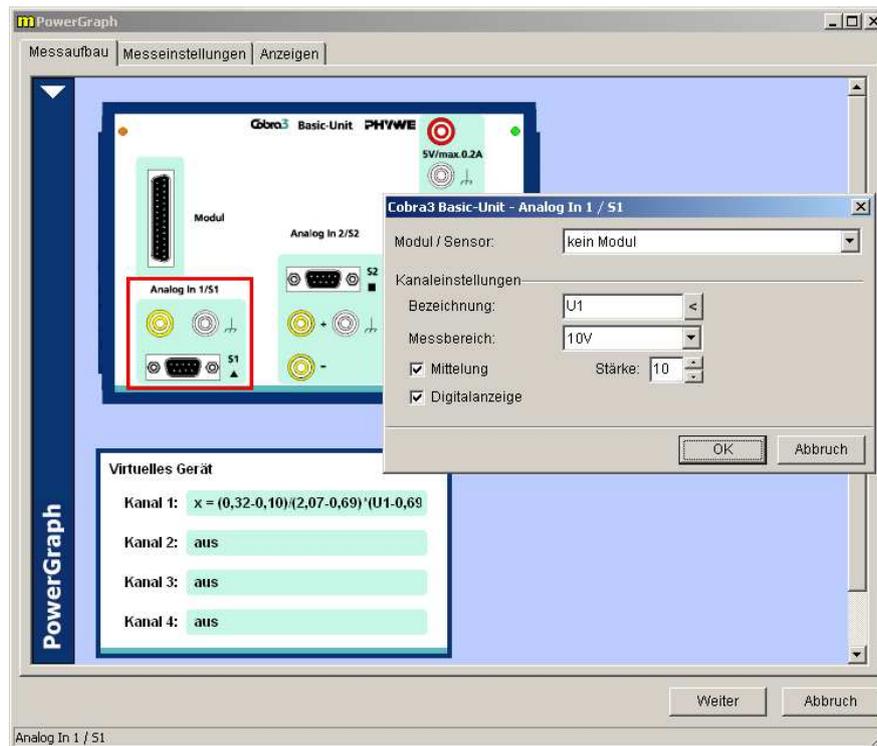


Abbildung 3.20: Die Einstellungen des Sensoreingangs „Analog In 1“ (Quelle: Weißel u. a., 2007)

den Kontextmenü erhält man die Möglichkeit, virtuelle Messgeräte hinzuzufügen, die nun im Einstellungsfenster dargestellt werden (siehe Abbildung 3.20). Die Konfiguration erfolgt durch Klick auf einen der 4 Kanäle, dazu muss der Modus „berechneter Kanal“ aktiviert und die Funktionsvorschrift „ $(x_2 - x_1) / (U(x_2) - U(x_1)) * (U_1 - U(x_1)) - x_1$ “ basierend auf dem Quellkanal „Spannung U1“ sowie die Kanaleinstellungen (Titel, Messgröße, Einheit, Nachkommastellen) eingetragen werden (siehe Abbildung 3.21).

Im Reiter „Messeinstellungen“ (siehe Abbildung 2.12) des PowerGraph-Fensters kann nun der neu erstellte Messkanal als x-Achse definiert werden, zusätzlich müssen nur noch die Werte des Kanals „Spannung U2“ aufgezeichnet werden. Start und Ende der Messung können durch Angabe von Triggerwerten für den Ort erfolgen, die maximale Messfrequenz beträgt bei diesen Einstellungen 25 ms. Im Tab „Anzeigen“ besteht die Möglichkeit, die während der Versuchsdurchführung benötigten Anzeigen (Digitalanzeigen bzw. Diagramme) einzublenden und zu konfigurieren.

Nachdem das Messfenster geöffnet wurde (Schaltfläche „Weiter“) wird der Laser

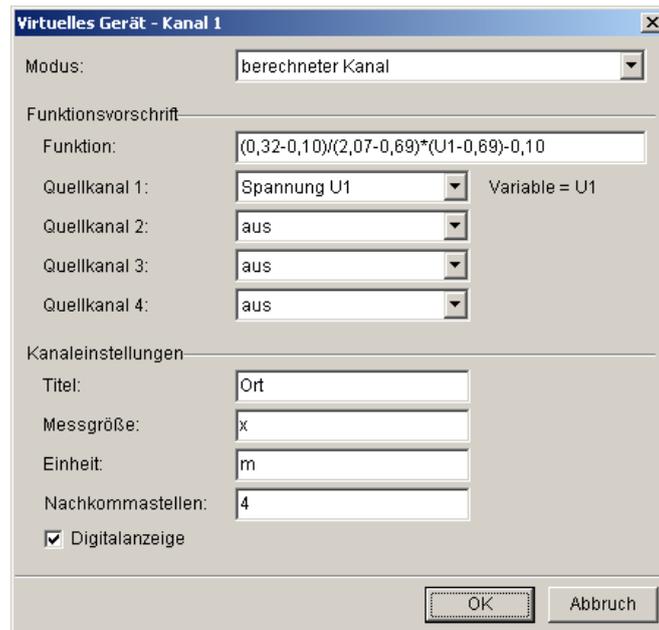


Abbildung 3.21: Zur Konfiguration eines virtuellen Messgerätes (Quelle: Weikel u. a., 2007)

eingeschaltet und die Fotodiode im Hauptmaximum platziert, so dass die maximale Spannung an der Diode durch Drehung des Polarisationsfilters auf 0,1 V begrenzt werden kann. Nach dem Start der Messung über die entsprechende Schaltfläche wird der Sensor langsam durch das Beugungsmuster hindurchgeschoben, beim Beenden der Messung kehrt das Programm automatisch zum Hauptfenster von Measure zurück, in dem dann die aufgenommenen Messwerte dargestellt werden.

3.3.3.4 Auswertung

Measure bietet die Möglichkeit der Anpassung der theoretischen Intensitätsverteilungen an die experimentell bestimmten Werte. Im entsprechenden Einstellungsfenster (wird über die Schaltfläche „Kurvenfitting“ aufgerufen, siehe Abbildung 3.22) muss zunächst die anzupassende Funktion eingegeben werden. Diese ergibt sich für Spalt und Doppelspalt aus den Gleichungen 3.14 und 3.16.

Die Ermittlung von Spaltbreite und -abstand eines Doppelspalt es macht so z.B. die Eingabe von

$$a * (\sin(180 * b / 0,0000006328 * (x - c) / 2,66) / (180 * b / 0,0000006328 * (x - c) /$$

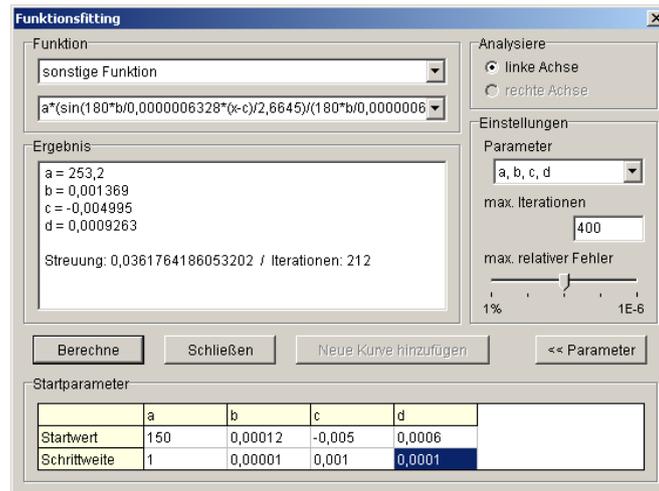


Abbildung 3.22: Die Anpassung der theoretischen Intensitätsverteilungen an die experimentell bestimmten Werte (Quelle: Weißel u. a., 2007)

$$2,66))^2 * (\sin(2 * 180 * d / 0,0000006328 * (x - c) / 2,66) / \sin(180 * d / 0,0000006328 * (x - c) / 2,6645))^2$$

nötig. Dabei wird die Wellenlänge und der Abstand ℓ als bekannt vorausgesetzt (hier: $\lambda = 632,8 \text{ nm}$, $\ell = 2,66 \text{ m}$). Der Parameter a steht dabei für die Intensität I_{max} , b für die Spaltbreite, c für die Position des Hauptmaximums und d für den Spaltabstand. Für alle Parameter müssen sowohl sinnvolle Startwerte als auch Schrittweiten für die Näherungsrechnung angegeben werden. Über einen Schieberegler kann die Genauigkeit des Ergebnisses vorgegeben werden, zur Begrenzung der Rechenzeit ist die Angabe der maximal auszuführenden Rechenschritte (Iterationen) möglich.

Ist ein Kurvenfitting nicht möglich, z.B. wenn die Intensitätseinstellung zu Beginn des Versuchs nicht erfolgte und die Leerlaufspannung der Fotodiode den zur Beleuchtungsstärke proportionalen Bereich überschreitet kann alternativ die Auswertung auch manuell erfolgen.

Zur Bestimmung der Positionen der Maxima oder Minima dient die Funktion „Kurvenanalyse“, dabei muss lediglich die gewünschte Fehlertoleranz gewählt werden. Es besteht die Option, die Ergebnisse in das Diagramm einzutragen oder in die Zwischenablage zu kopieren. Eine eventuelle Verschiebung des Interferenz-

musters (erkennbar an der Position des zentralen Maximums) kann mit Hilfe der „Kanalumwandlung“ ausgeglichen werden (siehe Abbildung 3.23). Mit der Funk-

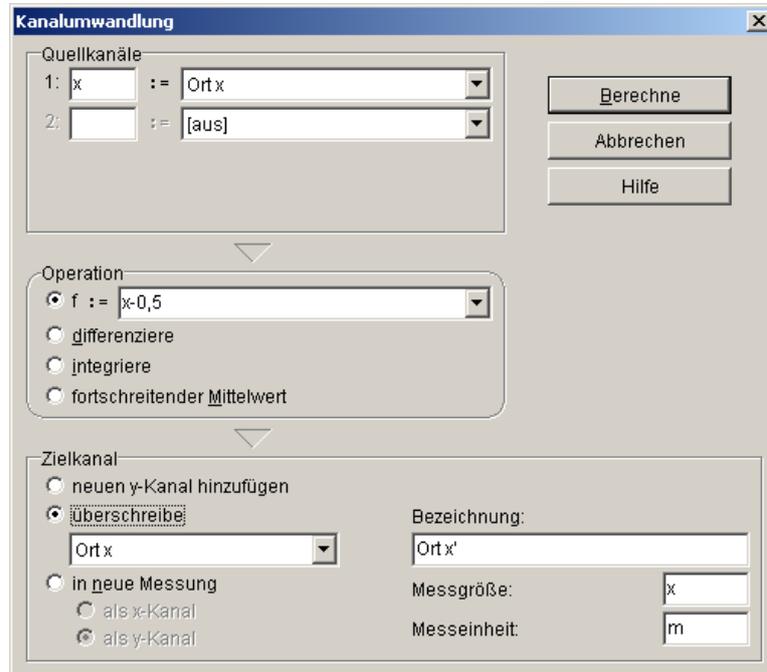


Abbildung 3.23: Kanalumwandlung in Measure (Quelle: Weißel u. a., 2007)

tion „Messwerte manuell erfassen...“ können nun neue Messungen erstellt und die Positionen der Extrema und ihrer Ordnungen in die Wertetabelle eingetragen werden. Die Ordnungen der Minima mit negativer Ortskoordinate erhalten dabei negative Vorzeichen. Die Anpassung einer Ausgleichsgeraden („Kurvenfittig“) an den Graphen $\sin(\alpha)$ gegen n ergibt den Wert $\frac{\sin(\alpha)}{n}$, mit dem schließlich die Spaltbreite oder aber auch die Wellenlänge berechnet werden kann (siehe Kapitel 3.1.2.3).

Für die Untersuchung von Mehrfachspalten in Verbindung mit einer manuellen Auswertung empfiehlt sich die zusätzlich Aufnahme des Beugungsmuster des Einfachspaltes (siehe auch Kapitel 3.2.4). Außerdem kann auf die Justierung des Polarisationsfilters verzichtet werden, da ausschließlich die Position der Extrema von Interesse ist.

3.3.3.5 Messbeispiel

Untersucht wurde das Interferenzmuster eines Doppelspaltes mit der Spaltbreite $d = 0,12 \text{ mm}$ und dem Spaltabstand $a = 0,6 \text{ mm}$, der Abstand ℓ zwischen Doppelspalt und Sensor betrug $2,66 \text{ m}$. Verwendet wurde ein Helium-Neon-Laser (Wellenlänge $\lambda = 632,8 \text{ nm}$).

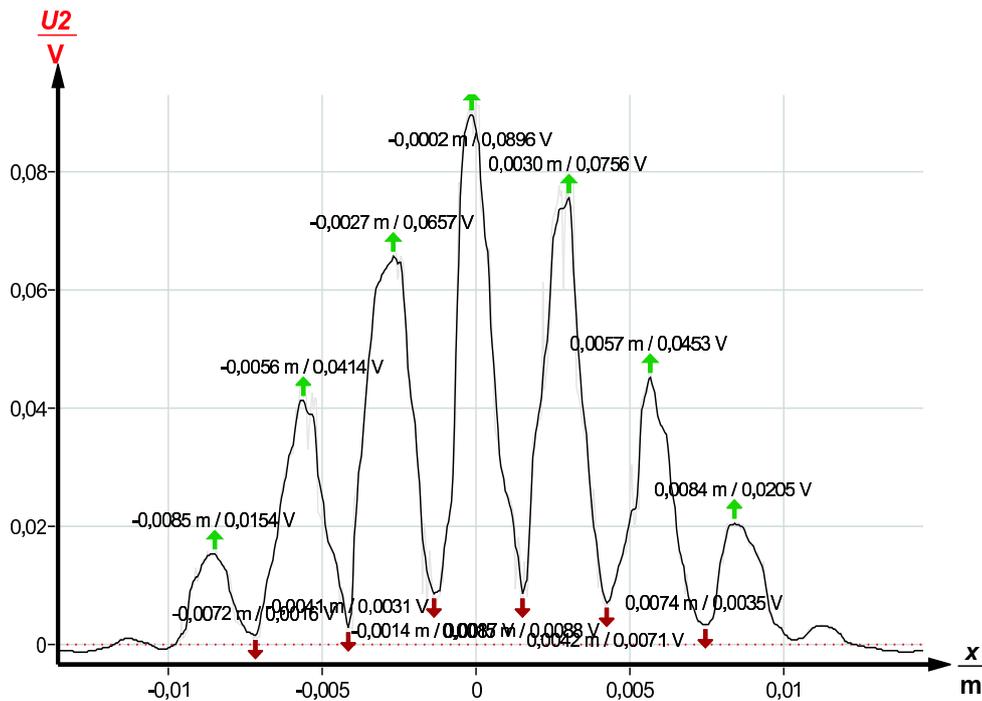


Abbildung 3.24: Intensitätsverteilung bei der Interferenz am Doppelspalt ($d = 0,12 \text{ mm}$, $a = 0,6 \text{ mm}$), gemessen mit Cobra3/Measure

Da die Funktion „Kurvenfit“ im Fall der für die Untersuchung von Intensitätsverteilungen benötigten, komplexen Funktionen keine brauchbaren Ergebnisse ergibt, wird nach Glättung des Graphen (siehe Abbildung 3.24) die Lage der Extrema ermittelt. Dabei können jeweils nur die Positionen der ersten 3 Maxima (bzw. Minima) links und rechts vom zentralen Maximum automatisch bestimmt werden. Den Zusammenhang zwischen dem daraus berechneten Wert $\sin \alpha$ und der Ordnung n des Maximums gibt Abbildung 3.25 graphisch wieder, die Anpassung einer Geraden ($y = ax + b$) durch Measure liefert als Ergebnis:

$$a = 0,00106069$$

$$b = 0,00000537057$$

Streuung: 4,74822677232904E-5 / Iterationen: 68

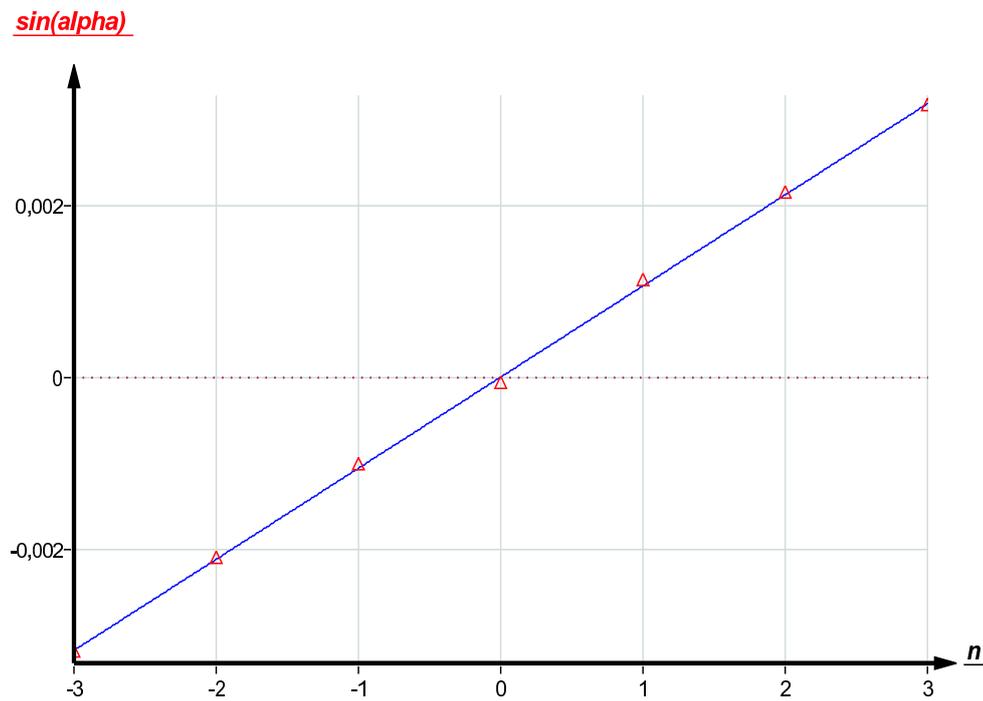


Abbildung 3.25: Zur Bestimmung der Wellenlänge des verwendeten Lasers

Mit $\lambda = \frac{\sin \alpha}{n} \cdot a$ ergibt sich für die Wellenlänge der Wert $\lambda_{exp} = 636 \text{ nm}$.

3.3.4 Coachlab II⁺/Coach 6

3.3.4.1 Material

Messwerterfassungssystem: Hardware

- Coachlab II⁺
- Differential Voltage Sensor (0212i)

Messwerterfassungssystem: Software

- Coach 6

Sonstiges Versuchsmaterial

- Laser (z.B. He-Ne-Laser)
- Beugungsobjekt (z.B. Spalt, Doppelspalt) mit Objekthalter
- optische Bank, Reiter, Halter für Steckelement, Isolatoren
- Kugellinse $f_1 = +5 \text{ mm}$
- Linse $f_2 = +50 \text{ mm}$
- Fotodiode (BPW24)
- Konstantandraht
- DC Netzgerät
- Experimentierkabel

3.3.4.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau erfolgt wie in Kapitel 3.3.1.2 beschrieben, wobei allerdings auf den Polarisationsfilter verzichtet werden kann, da die Auswertung nur anhand der Position der Extrema erfolgt.

Der Spannungssensor (0212i) wird in den analogen Eingang 1 von Coachlab II⁺ eingesteckt und mit der Fotodiode verbunden, ein Isolator und der (metallene) Halter der Diode werden an den Eingang 3 angeschlossen (siehe Abbildung 3.26). An die Isolatoren wird eine Spannung von ca. 2,5 V gelegt.

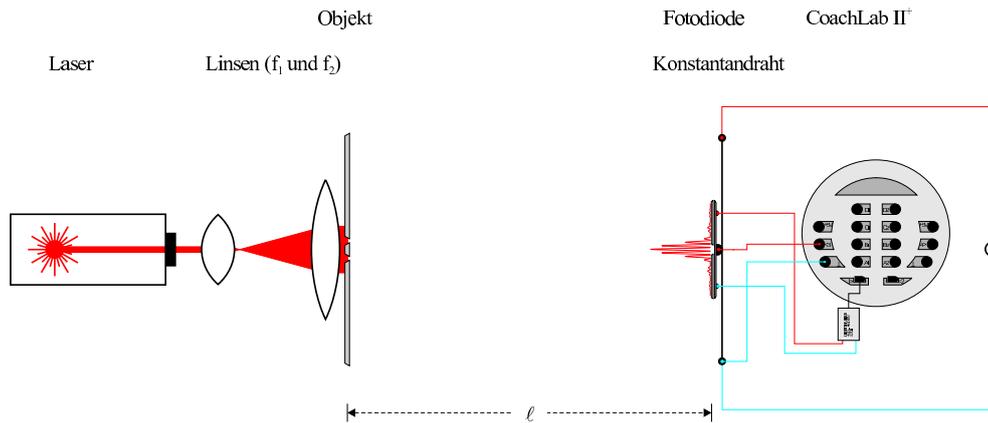


Abbildung 3.26: Versuchsaufbau mit dem System Coachlab II⁺/Coach 6

3.3.4.3 Versuchsdurchführung

Nach Einsetzen des Objektes in den Halter kann die Stellung der zweiten Linse bei Bedarf korrigiert werden bis das Beugungsbild scharf auf dem Schirm abgebildet ist. Nun folgt (bei abgeschaltetem Laser) der Tausch von Schirm und optischer Bank mit Fotodiode und die Messung des Abstandes ℓ .

Nach dem Start von Coach 6 muss zuerst die Anmeldung als Autor (Schaltfläche „Anmelden“) erfolgen, damit eine neue Aktivität erstellt werden kann (auch über die Tastenkombination „STRG + N“ möglich). Im Einstellungsfenster für die Aktivitäten kann nun der Modus „Messung“ und die Schnittstelle (Coachlab II⁺) ausgewählt werden.

Als nächster Schritt erfolgt die Konfiguration des Interfaces. Während der Spannungssensor 0212i automatisch erkannt wird, muss der (ebenfalls als Spannungssensor funktionierende) Eingang 3 manuell konfiguriert werden. Dazu besteht die Möglichkeit, über einen Klick mit der rechten Maustaste auf einen freien Platz in der Sensor-Palette einen Sensor aus der in das Programm Coach 6 integrierten Sensoren-Bibliothek hinzuzufügen. Der benötigte Sensor ist unter dem Namen „Voltmeter (CMA) (0...5V)“ zu finden.

Zur Kalibrierung des „Ortssensors“ wird die Fotodiode auf ihrem Reiter an zwei möglichst weit auseinanderliegende Orte (x_1 , x_2) auf der optischen Bank verschoben und der jeweils zugehörige Spannungsabfall ($U(x_1)$, $U(x_2)$) am Sensoren-Symbol (Eingang 3) abgelesen.

Zur Aufnahme und Darstellung der Messwerte wird in einem beliebigen Fenster

ein neues Diagramm erstellt. Während die ersten beiden Spalten (C1 („unsicht-

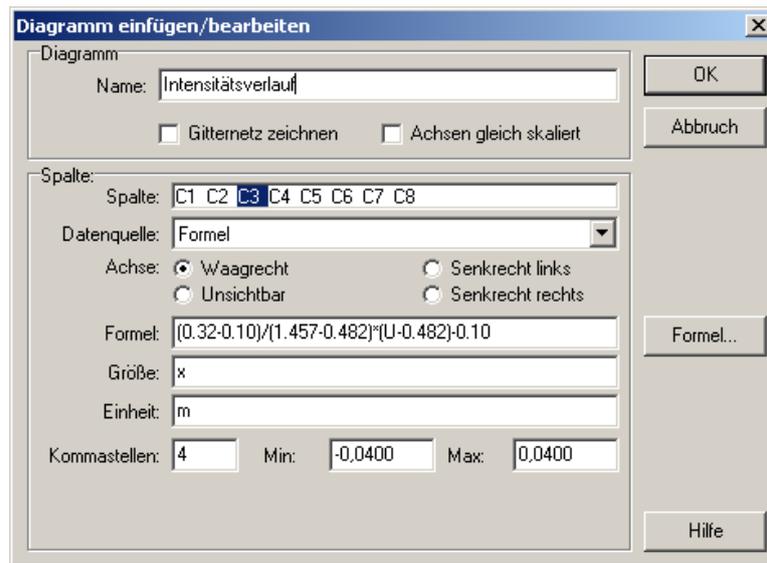


Abbildung 3.27: Erstellung eines Diagramms zur Messung (Quelle: Coach6, 2007)

bar“) und C2) die Werte der Sensoreneingänge 1 und 3 erhalten, wird die dritte Spalte unter Verwendung der Kalibrierungsdaten zur Ortsberechnung genutzt und als x-Achse definiert („waagrecht“). Dabei kommt die Formel „ $(x_2-x_1)/(U(x_2)-U(x_1))*(U-U(x_1))-x_1$ “ zum Einsatz (siehe Abbildung 3.27).

Messfrequenz und Messdauer bzw. Anzahl der Messungen werden im Messeinstellungsfenster (siehe Abbildung 2.20) festgelegt, dabei ist eine Frequenz von 20 Messungen pro Sekunde ausreichend, die Dauer ist beliebig, sollte aber genügend lang sein (> 1 min).

Die Messung kann nun durch Klick auf die Schaltfläche der Aktivitäten-Symbolleiste oder über „F9“ gestartet werden. Nachdem die Fotodiode langsam durch den Bereich des Interferenzmuster hindurchgeschoben wurde, wird die Messwertfassung über die entsprechende Schaltfläche wieder beendet. Wird das Interferenzmuster eines Mehrfachspaltes ausgemessen, so empfiehlt es sich, durch Abdecken die Aufnahme des Beugungsmusters der beteiligten Einzelspalte separat durchzuführen.

3.3.4.4 Auswertung

Auch mit Coach 6 ist es zwar möglich, Funktionen an experimentell bestimmte Werte anzupassen, allerdings können dabei nur die vom Programm vorgegebenen Funktionen verwendet werden. Daher muss zur Auswertung der Messung auf das manuelle Verfahren zurückgegriffen und die Positionen der Extrema durch die Funktion „Werte ablesen“ (siehe Kapitel 2.1.3.5) bestimmt werden.

Dazu wird zuerst eine neue Tabelle in einem beliebigen Fenster angelegt, je nach aktuellem Layout der Aktivität ist dafür das Ausblenden des Schnittstellenfensters notwendig. Die Tabelle beinhaltet zunächst nur die Spalten „Ordnung n “ und „Position x “ der Maxima oder Minima („Eingabe von Hand“, siehe Kapitel 2.1.3.5), wobei zu beachten ist, dass Ordnung und Position jeweils dieselben Vorzeichen besitzen. In einem zweiten Schritt muss eine eventuelle Verschiebung des zentralen Maximums in x-Richtung korrigiert werden. Diese Verschiebung kann am einfachsten bestimmt werden, wenn rechts und links vom zentralen Maximum dieselbe Anzahl von Extrema erfasst wurde. In diesem Fall genügt der Aufruf der Statistik-Funktion, die im Kontextmenü der Tabelle unter „Analyse“ zu finden ist. Der Mittelwert der Positions-Spalte liefert den gesuchten Wert (x_{korrr}). Nun kann in einer neuen Spalte der Tabelle die Größe $\sin(\alpha) = (x - x_{korrr})/\ell$ definiert und die Spalte der ursprünglichen Positionsmessung (x) ausgeblendet werden.

	n	x
		m
Anzahl:	10	8
Max:	4	0,0224
Min:	-4	-0,0224
Mittelwert:	0	-0,0053
Summe:	0	-0,0427
Summe der Quadrate:	60	0,0032
s(n):	2	0,0191
s(n-1):	3	0,0204

Abbildung 3.28: Das Statistikfenster - Bestimmung der Verschiebung des Intensitätsspektrums (Quelle: Coach6, 2007)

Die Anpassung einer Ausgleichsgeraden liefert nun den Werte $\sin(\alpha)/n$, mit dessen Hilfe Wellenlänge oder Spaltbreite bzw. Gitterkonstante berechnet werden

können (siehe Kapitel 3.1.2.3 bzw. Gleichung 3.4 und 3.5).

3.3.4.5 Messbeispiel

Das Beugungsmusters eines Spaltes ($d = 0,24 \text{ mm}$, $\ell = 2,66 \text{ m}$) wurde unter Verwendung eines Helium-Neon-Lasers ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$) wurde mit der in Kapitel 2.1.3.4 beschriebenen Methode aufgenommen (siehe Abbildung 3.29).

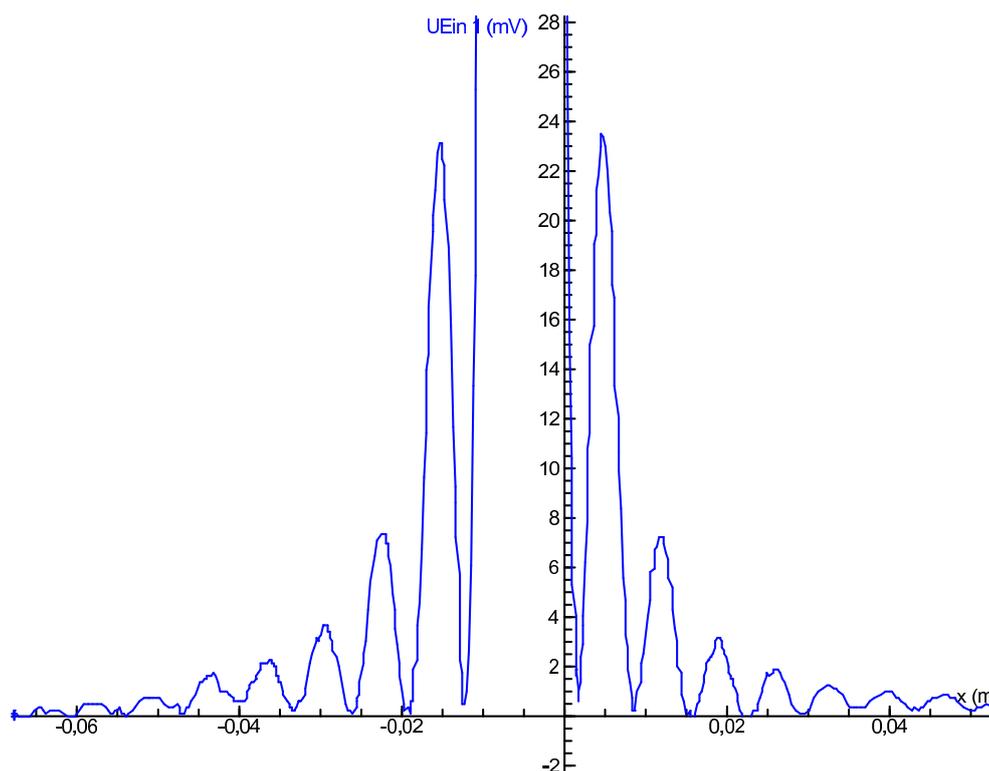


Abbildung 3.29: Vergrößerter Ausschnitt der Intensitätsverteilung bei der Beugung am Spalt ($d = 0,24 \text{ mm}$), gemessen mit Coachlab II⁺/Coach 6

Nach der Korrektur der x-Verschiebung und der Berechnung von $\sin \alpha$ ($\sin \alpha = (x - x_{\text{korrr}})/\ell$, siehe Tabelle 3.2) erfolgt die Ermittlung des Wertes $\frac{\sin \alpha}{n}$ durch die Anpassung einer Geraden.

Es ergibt sich ein Wert von $\frac{\sin \alpha}{n} = 2,63 \cdot 10^{-3}$ (Standardabweichung: $0,04 \cdot 10^{-3}$) und damit eine experimentell ermittelte Wellenlänge von $\lambda_{\text{exp}} = 630 \text{ nm}$.

n	sin α
-4	-0,0105
-3	-0,0079
-2	-0,0052
-1	-0,0026
1	0,0026
2	0,0052
3	0,0079
4	0,0104

Tabelle 3.2: Zur Auswertung

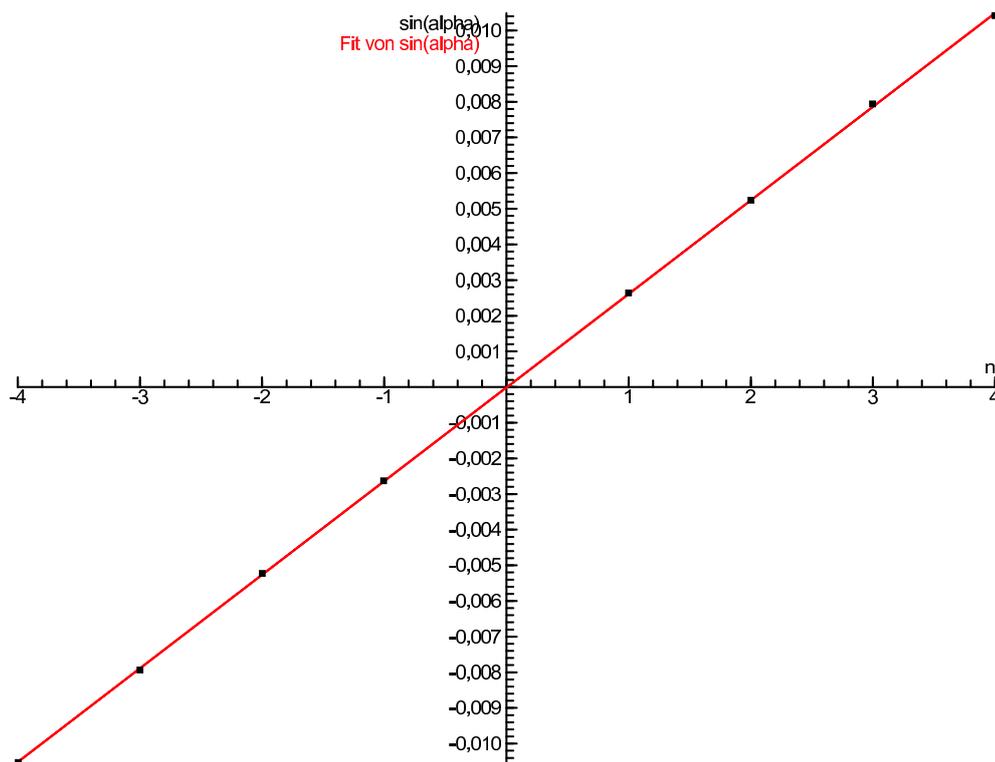


Abbildung 3.30: Zur Bestimmung der Wellenlänge des verwendeten Lasers

3.3.5 XLSmess

3.3.5.1 Material

Messwerterfassungssystem: Hardware

- MULTI-BOX
- 2 x TECPEL DMM 8061 (Digitalmultimeter)
- Verbindungskabel Digitalmultimeter - MULTIBOX

Messwerterfassungssystem: Software

- XLS200XP
- Microsoft Excel

Sonstiges Versuchsmaterial

- Laser (z.B. He-Ne-Laser)
- Polarisationsfilter
- Beugungsobjekt (z.B. Spalt, Doppelspalt) mit Objekthalter
- optische Bank, Reiter, Halter für Steckelement, Isolatoren
- Kugellinse $f_1 = +5 \text{ mm}$
- Linse $f_2 = +50 \text{ mm}$
- Fotodiode (BPW24)
- Konstantendraht
- DC Netzgerät
- Experimentierkabel

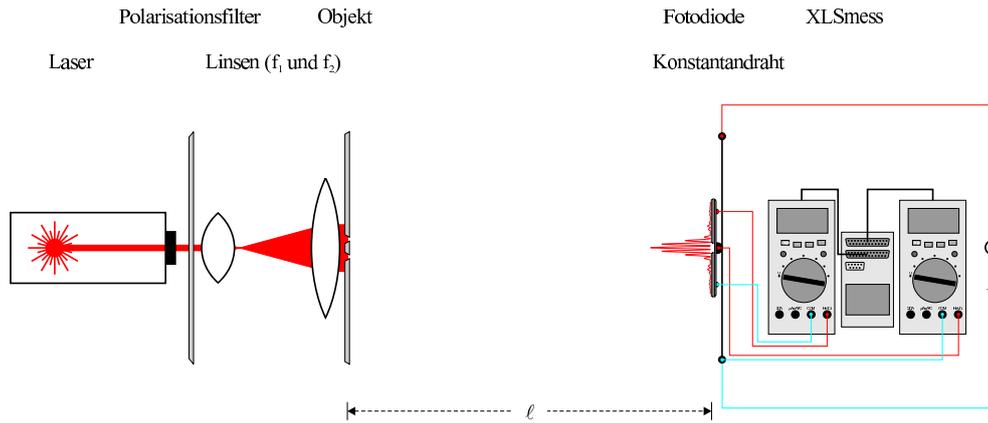


Abbildung 3.31: Versuchsaufbau mit XLSmess

3.3.5.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau erfolgt wie in Kapitel 3.3.1.2 beschrieben, wobei allerdings auf den Polarisationsfilter verzichtet werden kann, da die Auswertung nur Anhand der Position der Extrema erfolgt.

Die Multimeter werden mit der MULTIBOX verbunden. Die Anschlüsse der Fotodiode werden mit dem Messgerät am Platz 1, ein Isolator und der (metallene) Halter der Diode mit dem Platz 2 der MULTIBOX verbunden (siehe Abbildung 3.31). An die Isolatoren wird eine Spannung von ca. 1 V gelegt.

3.3.5.3 Versuchsdurchführung

Nach Einsetzen des Objektes in den Halter kann die Stellung der zweiten Linse bei Bedarf korrigiert werden bis das Beugungsbild scharf auf dem Schirm abgebildet ist. Nun folgt (bei abgeschaltetem Laser) der Tausch von Schirm und optischer Bank mit Fotodiode und die Messung des Abstandes ℓ .

Das Programm XLS200XP und damit gleichzeitig auch Microsoft Excel wird gestartet. Für Platz 1 und 2 wird als Messgerät im Dropdownfeld „TECPEL DMM 8061“ bei einer Baudrate von 1200 ausgewählt. Gegebenenfalls muss der COM-Port angegeben werden, über den die Datenübertragung zwischen MULTIBOX und PC läuft. Ein Test der Datenübertragung ist mit der Schaltfläche „Data-Check“ möglich. Die Messfrequenz wird auf den größtmöglichen Wert (1 Messung pro Sekunde) festgelegt.

Zur Kalibrierung des „Ortssensors“ wird die Fotodiode auf ihrem Reiter an zwei

möglichst weit auseinanderliegende Orte (x_1, x_2) auf der optischen Bank verschieben und der jeweils zugehörige Spannungsabfall ($U(x_1), U(x_2)$) am Multimeter auf Platz 2 abgelesen.

Zur Messdatenerfassung in Excel schließt man über die Schaltfläche „Go EXCEL (Zur Datenerfassung)“ das Start- und öffnet das Steuerfenster (siehe Abbildung 2.23). Die Fotodiode wird langsam durch den Bereich des Interferenzmuster geschoben, dabei ist eine automatisch Aufnahme mit der vorgegebenen Messfrequenz (Start und Stopp der Messung erfolgt über die entsprechenden Schaltflächen) oder alternativ dazu die Aufnahme von Einzelwerten möglich.

3.3.5.4 Auswertung

Für die Auswertung in Excel empfiehlt sich die Nutzung des Bereichs ab der Spalte I, da durch den Befehl „Clear“ jeweils die Spalten A bis H gelöscht werden.

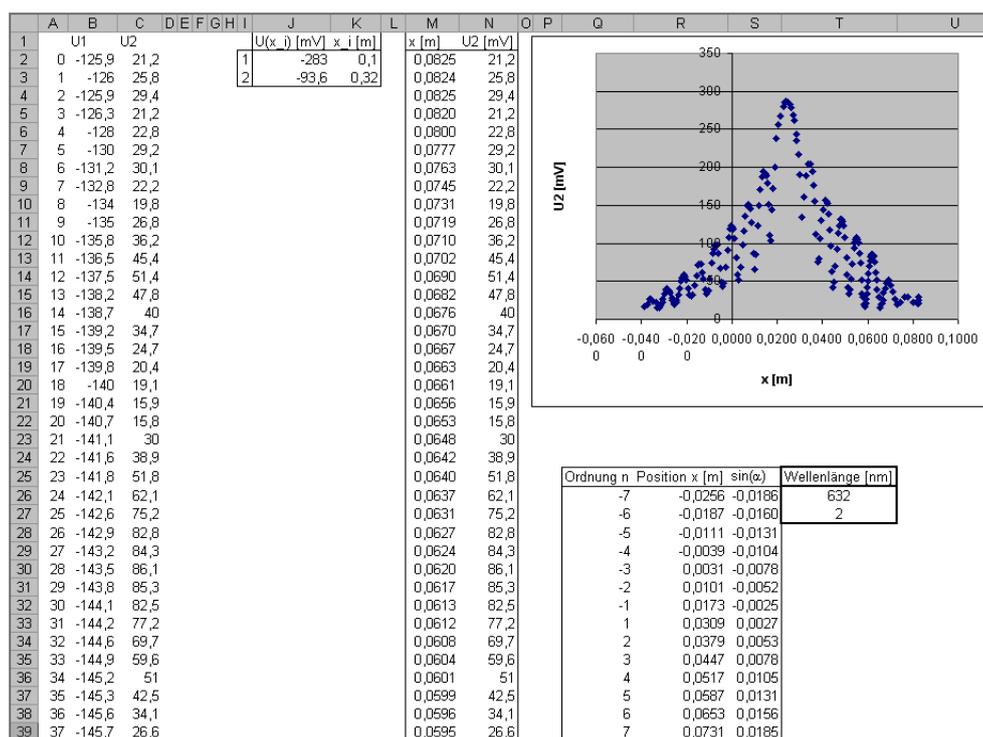


Abbildung 3.32: Die Auswertung der Messung in Excel

Abbildung 3.32 zeigt ein Beispiel für die Auswertung der Messung eines Einzelspaltes. Die von XLSmess erfassten Messdaten sind in den Spalten A bis C zu finden, was der Standardeinstellung des Programmes entspricht. Die zur Ortskalibrierung notwendigen Daten wurden in die Zellen J2 bis K3 eingetragen. Spalte

M enthält die daraus für jeden Wert der Spannung U1 berechnete Sensorposition. Für dieses Beispiel ergibt sich aus Gleichung 3.20 damit in der Formelschreibweise von Excel der Eintrag für die Zelle M2:

$$=(K3-K2)/(J3-J2)*(B2-J2)-K2$$

Durch die Excel-Funktion „Ausfüllen“ kann diese Formel auf die darunter liegenden Zellen übertragen und angepasst werden. Als nächstes wird ein x-y-Diagramm aus den berechneten Ortskoordinaten und der Intensitätsmessung (Spannung U2, im Beispiel wurden diese Werte zur Übersichtlichkeit in Spalte N kopiert) erstellt. Aus diesem Diagramm werden nun die Positionen der Minima oder Maxima abgelesen und zusammen mit der Ordnung des Extremums unter Beachtung der Vorzeichen in eine neue Tabelle eingetragen. Dazu bewegt man den Mauszeiger über den entsprechenden Datenpunkt, die gesuchten Werte erscheinen daraufhin in einem Tooltip. Durch paarweise Mittelwertbildung der Ortswerte Extrema gleicher Ordnung (bzw. durch Berechnung des Mittelwertes aller Ortskoordinaten, falls links und rechts vom zentralen Maximum die gleiche Anzahl von Extrema zur Auswertung herangezogen werden) erhält man die Verschiebung des Interferenzmusters in x-Richtung (x_{korrr}). Nun kann in einer neuen Spalte der Tabelle die Größe $\sin(\alpha) = (x - x_{korrr})/\ell$ definiert werden. Unter Verwendung der Excel-Funktionen „RGP“ und „INDEX“ besteht jetzt die Möglichkeit, aus diesen Werten die Größe $\frac{\sin(\alpha)}{n}$ zu berechnen, aus der sich die Wellenlänge oder Spaltbreite bzw. Gitterkonstante ergibt (siehe Kapitel 3.1.2.3 bzw. Gleichung 3.4 und 3.5). Unter Berücksichtigung des aktuellen Tabellenlayouts und der Spaltbreite kann dies durch die Eingabe der Formel

$$=RUNDEN(INDEX(RGP(S26:S39;Q26:Q39;1;1);1;1)*0,00024*1000000000;0)$$

erreicht werden; die Ausgabe erfolgt dann gerundet in nm.

3.3.5.5 Messbeispiel

Untersucht wurde mit dem System XLSmess das Beugungsmuster eines Spaltes der Breite $d = 0,24$ mm. Verwendet wurde ein Helium-Neon-Laser mit der Wellenlänge $\lambda = 632,8$ nm, der Abstand zwischen Spalt und Sensor betrug dabei $\ell = 2,66$ m.

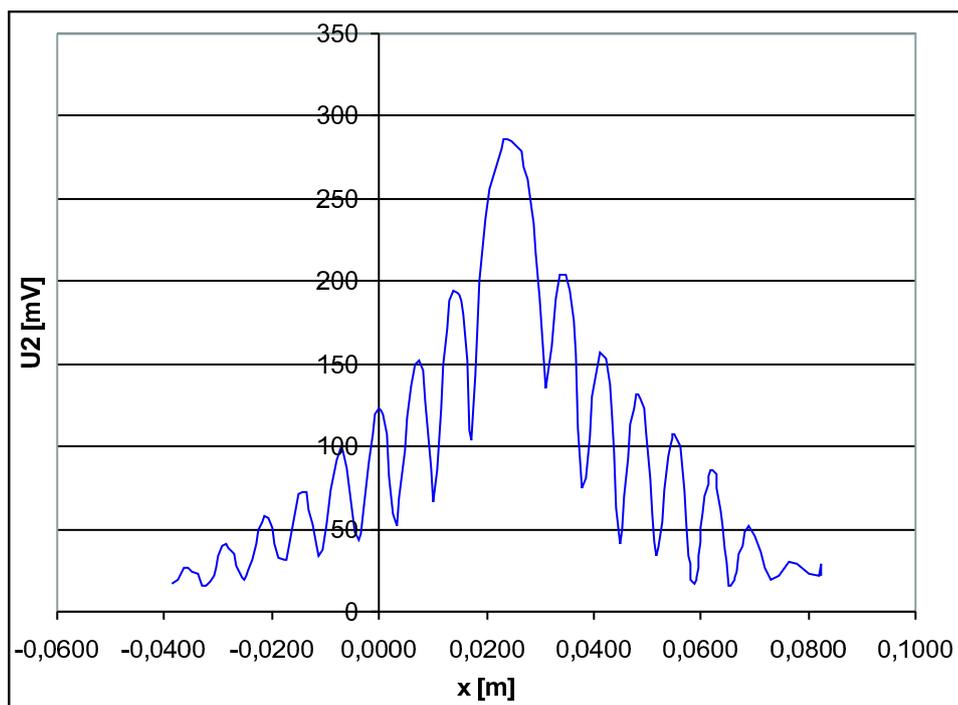


Abbildung 3.33: Beispielmessung und -auswertung mit XLSmess und Microsoft Excel: Beugung am Einzelspalt ($d = 0,24 \text{ mm}$)

Die aus dem Graphen abgelesenen Positionsdaten der Minima finden sich in Tabelle 3.3, zusammen mit dem daraus (nach Korrektur der Verschiebung in x-Richtung) ermittelten Wert für $\sin \alpha$.

Ordnung n	Position x [m]	$\sin \alpha$
-7	-0,0256	-0,0186
-6	-0,0187	-0,0160
-5	-0,0111	-0,0131
-4	-0,0039	-0,0104
-3	0,0031	-0,0078
-2	0,0101	-0,0052
-1	0,0173	-0,0025
1	0,0309	0,0027
2	0,0379	0,0053
3	0,0447	0,0078
4	0,0517	0,0105
5	0,0587	0,0131
6	0,0653	0,0156
7	0,0731	0,0185

Tabelle 3.3: Zur Auswertung

Die graphische Darstellung von $\sin \alpha$ in Abhängigkeit der Ordnung n findet sich in Abbildung 3.34. Die Anpassung der Regressionsgeraden liefert den Wert

$$\frac{\sin \alpha}{n} = \frac{\lambda}{d} = (2,632 \pm 0,007) \cdot 10^{-3},$$

was dem erwarteten Wert von $\frac{\lambda}{d} = 2,634 \cdot 10^{-3}$ sehr gut entspricht.

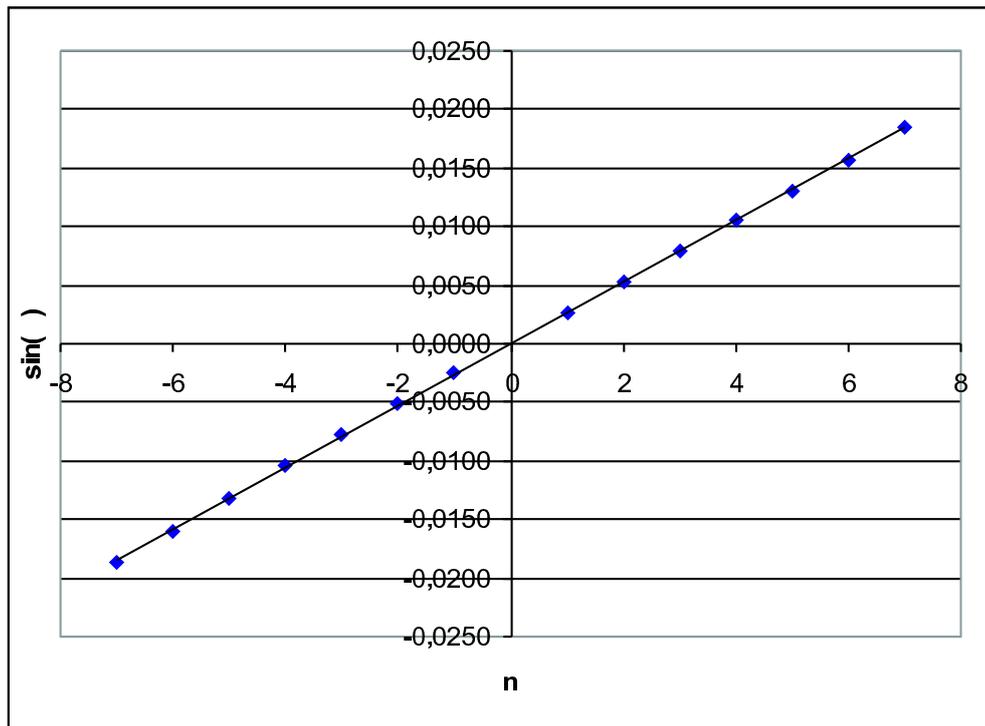


Abbildung 3.34: Linearer Zusammenhang zwischen $\sin \alpha$ und Ordnung n

3.4 Einzelmessgeräte und (LowCost) Peripherie

3.4.1 Allgemeines zu Messprinzip und Versuchsaufbau

3.4.1.1 Messprinzip

Die Lage der Intensitätsmaxima und -minima wird mit Hilfe eines digitalen Fotos in Abhängigkeit des Abstands x zum Hauptmaximum bestimmt. Das Bild entsteht durch die direkte Belichtung des CCD-Chip einer digitalen Kamera.

Ein CCD-Bildsensor (CCD: Charge-coupled Device) besteht aus einer Vielzahl lichtempfindlicher Zellen, die aus einem dotierten Halbleiter bestehen, auf dem eine optisch durchlässige, leitende Schicht aufgebracht wurde. Einfallendes Licht erzeugt über den fotoelektrischen Effekt eine zur Lichtmenge proportionalen Ladung, die in der Zelle gespeichert wird. Ein Ausleseverstärker gibt dann in einem seriellen Verfahren eine wiederum zur Ladung proportionale Spannung aus. Diese Signale werden von der Elektronik digitalisiert und zusammen mit der Ortsinformation (die Position der Zelle) abgespeichert.

3.4.1.2 Versuchsaufbau

Die Kamera wird in ca. 1 m Entfernung so zum Laser platziert, dass die Ebene des Bildsensors senkrecht zum Strahlengang steht. Das Objektiv der Kamera wird entfernt. Ein Polarisationsfilter direkt hinter dem Laser dient zur Intensitätseinstellung. Zur Aufweitung werden die Kugellinse in ca. $0,5\text{ cm}$ Entfer-

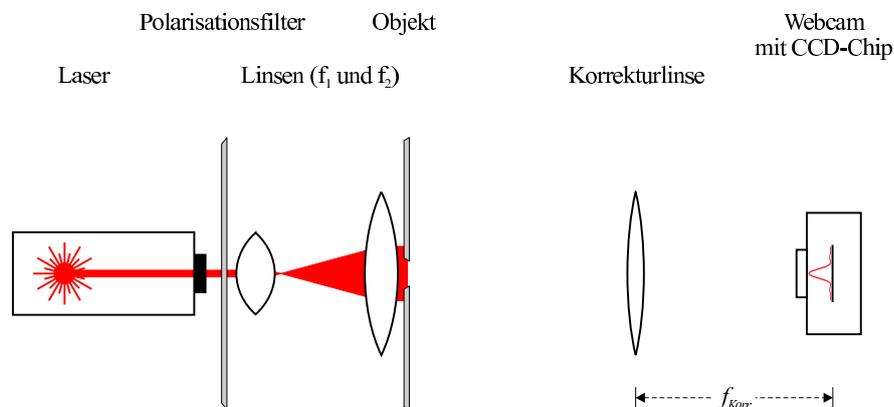


Abbildung 3.35: Versuchsaufbau

nung zum Laser und die zweite Linse ($f_2 = +50 \text{ mm}$) im Abstand ihrer Brennweite so positioniert, dass man einen mehrere Millimeter durchmessenden Laserstrahl mit konstantem Durchmesser erhält. Da der Abstand zwischen dem Beugungsobjekt direkt hinter der zweiten Linse und der Kamera verhältnismäßig gering ist, treffen die Lichtstrahlen nicht parallel auf dem Chip der Kamera auf. Daher wird die Korrekturlinse in der Entfernung f_{Korr} zum Bildsensor im Strahlengang platziert (siehe Kapitel 3.1.2.1).

3.4.2 VideoCom

3.4.2.1 Material

Messwerterfassungssystem: Hardware

- VideoCom

Messwerterfassungssystem: Software

- VideoCom Intensitäten

Sonstiges Versuchsmaterial

- Laser (z.B. He-Ne-Laser)
- Beugungsobjekt (z.B. Spalt, Doppelspalt) mit Objekthalter
- Stativmaterial, optische Bank, Reiter
- Kugellinse $f_1 = +5 \text{ mm}$
- Linse $f_2 = +50 \text{ mm}$
- Korrekturlinse, z.B. $f_{Korr} = +500 \text{ mm}$
- Polarisationsfilter

3.4.2.2 Versuchsaufbau

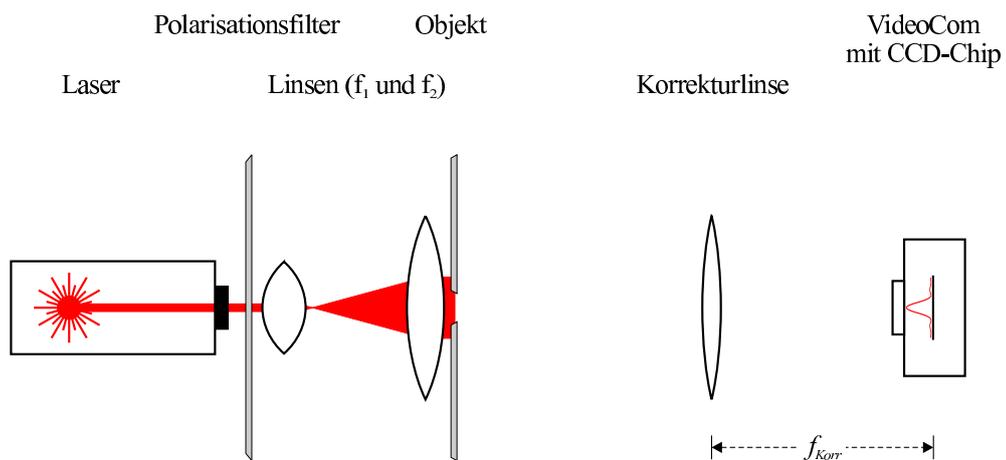


Abbildung 3.36: Versuchsaufbau mit dem System Videocom

Der Versuchsaufbau erfolgt wie in Kapitel 3.4.1.2 beschrieben, als Kamera wird VideoCom eingesetzt.

3.4.2.3 Versuchsdurchführung

Vor der Aktivierung des Lasers muss die VideoCom aus dem Strahlengang entfernt oder abgedeckt werden, um eine Schädigung des CCD-Chips zu vermeiden zu vermeiden. Durch Drehen des Polarisationsfilters wird daher zunächst die Lichtintensität auf ein Minimum eingestellt. Nach dem Einsetzen der VideoCom wird das Programm VideoCom Intensitäten aktiviert. Zur Justierung der Kamera wird die Messung mit 256 Pixeln (F8) gestartet, da die Datenübertragung zwischen Kamera und PC so schneller vonstatten geht. Sowohl die Position der Kamera als auch die Lichtintensität kann nun korrigiert werden. Für die eigentliche Messung empfiehlt sich sowohl die Nutzung aller 2048 Pixel des Chips (F9) als auch die Funktion „Mittelwertbildung“, die durch den zugehörigen Speed-Button in der Symbolleiste aktiviert wird. Nach einigen Sekunden Messzeit kann die Messung beendet werden (F9).

3.4.2.4 Auswertung

VideoCom Intensitäten stellt als solches keine Auswertungsmechanismen für die Untersuchung von Interferenz und Beugung von Laserlicht zur Verfügung. Allerdings

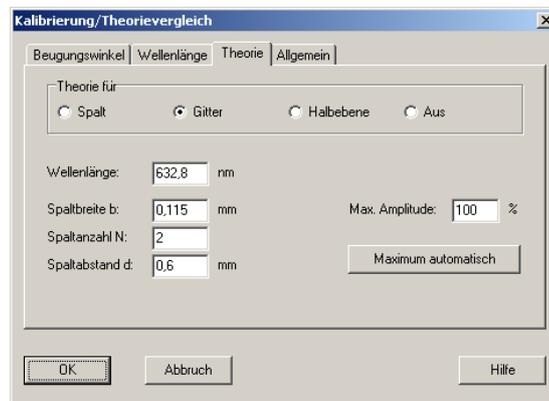


Abbildung 3.37: Theorievergleich mit VideoCom Intensitäten

besteht die Möglichkeit, die gesuchte Wellenlänge, Gitterkonstante oder Spaltbreite durch den Theorievergleich zu ermitteln. Dazu müssen die Werte im Einstellungsfenster (siehe Abbildung 3.37) manuell so gewählt werden, dass die theoretische Kurve mit den Messwerten möglichst gut übereinstimmt.

Alternativ kann die Wertetabelle über den entsprechenden Befehl im Kontextmenü kopiert und z.B. nach Microsoft Excel exportiert werden, wo eine Auswertung analog zu der in Kapitel 2.1.4.5 Methode vorgenommen werden kann. Eine Überprüfung der Ergebnisse kann dann wieder unter Verwendung des Theorievergleichs geschehen.

3.4.2.5 Messbeispiel

Die Messung der Intensitätsverteilung von an einem Doppelspalt ($d = 0,12 \text{ mm}$, $a = 0,6 \text{ mm}$) interferierenden Laserlichtes ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$) erfolgte unter Verwendung einer Korrekturlinse mit der Brennweite $f_{Korr} = +500 \text{ mm}$.

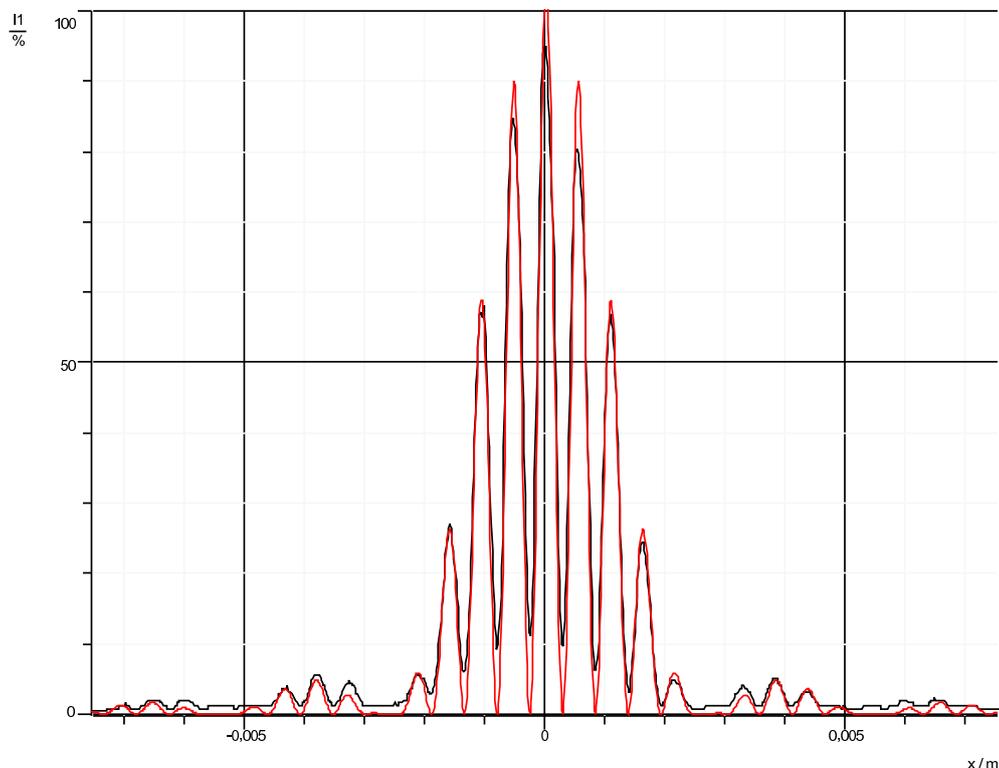


Abbildung 3.38: Intensitätsverteilung bei der Interferenz am Doppelspalt ($d = 0,12 \text{ mm}$, $a = 0,6 \text{ mm}$; schwarz: Messkurve; rot: Kurvenfit mit CASSY Lab), gemessen mit VideoCom

Aufgrund der fehlenden Auswertungsmöglichkeiten in VideoCom Intensitäten muss ein externes Programm zur Verarbeitung der Daten verwendet werden. Dabei bietet sich neben Microsoft Excel auch CASSY Lab an (siehe Kapitel 3.3.2.5). Obwohl diese Programme vom selben Hersteller stammen, ist ein direkter Transport der Daten zwischen ihnen nicht möglich. Der Export muss daher über einen

Texteditor oder Excel stattfinden, nötig ist dabei auch die Ergänzung fehlender Kopfzeilen (siehe Abbildung 3.39).

```
MIN=-0,4 0
MAX=0,4 100
SCALE=1 1000
DEC=4 4
DEF="alpha" a "Spannung" I1
```

Abbildung 3.39: Beispiel von Kopfzeilen einer Textdatei zum Import von Daten in CASSY Lab

In CASSY Lab selbst erfolgt die Auswertung durch Anpassung des theoretischen Intensitätsverlaufs an die Messwerte. Zur Bestimmung von Spaltbreite und Abstand ist dazu unter „Freie Anpassung“ die Eingabe von

$$A * (\sin(180 * B / 0,0000006328 * (x - C) / 0,5) / (180 * B / 0,0000006328 * (x - C) / 2,6645))^2 * (\sin(2 * 180 * D / 0,0000006328 * (x - C) / 0,5) / \sin(180 * D / 0,0000006328 * (x - C) / 0,5))^2$$

erforderlich. Als Ergebnis erhält man für die Spaltbreite $d_{exp} = 0,117$ mm bzw. für den Abstand $a_{exp} = 0,58$ mm, was unter der Beachtung der möglichen, nur schwer abschätzbaren, Fehlerquellen (Verzeichnung der Linse, Schiefstellung des Objektes, siehe Kapitel 3.1.2.4) mit den erwarteten Werten sehr gut übereinstimmt.

3.4.3 Excel/Webcam (Philips PCVC840K/20)

Die Untersuchung von Interferenzmuster mit Hilfe einer digitalen (Video-) Kamera ähnelt in Bezug auf die Messmethode der rein visuellen Messung. Auch hier wird nahezu ausschließlich die Lage der Minima und Maxima bestimmt, obwohl auch eine Auswertung des Intensitätsverlaufs unter guten Bedingungen möglich ist.

Theoretisch kann bei dieser Methode jede digitale Videokamera bzw. jeder digitale Fotoapparat genutzt werden. Voraussetzung ist nur, dass das Objektiv entfernt werden kann. Aufgrund der Gefahr der Zerstörung des CCD-Chips durch das Laserlicht empfiehlt sich allerdings die Verwendung einer kostengünstigen Webcam (z.B. Philips PCVC840K/20), was jedoch mit Einbußen im Bereich der Messgenauigkeit verbunden ist.

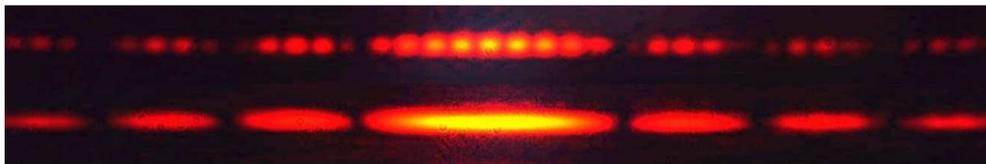


Abbildung 3.40: Interferenzmuster eines Doppelspaltes ($d = 0,12\text{ mm}$, $g = 0,6\text{ mm}$), aufgenommen mit einer Philips ToUcam 840K. Oben: Beide Spalte. Unten: Ein Spalt abgedeckt.

Die Auswertung der aufgenommenen Interferenzmuster erfolgt bei diesem Messverfahren durch das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel.

3.4.3.1 Material

Messwerterfassungssystem: Hardware

- Webcam (Philips PCVC840K/20)

Messwerterfassungssystem: Software

- Image Capture-Programm
- Microsoft Excel

Sonstiges Versuchsmaterial

- Laser (z.B. He-Ne-Laser)

- Beugungsobjekt (z.B. Spalt, Doppelspalt) mit Objekthalter
- Stativmaterial, optische Bank, Reiter
- Kugellinse $f_1 = +5\text{ mm}$
- Linse $f_2 = +50\text{ mm}$
- Korrekturlinse, z.B. $f_{Korr} = +200\text{ mm}$
- Polarisationsfilter

3.4.3.2 Versuchsaufbau

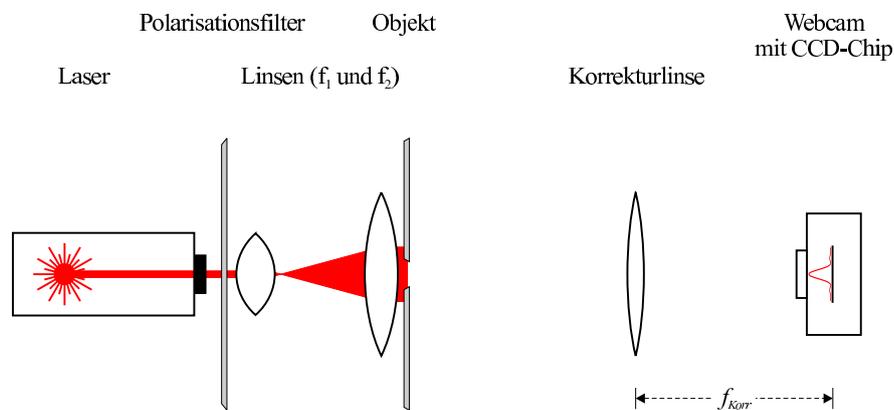
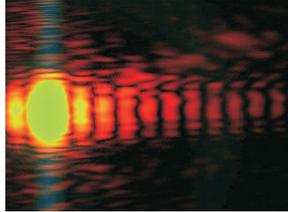


Abbildung 3.41: Versuchsaufbau

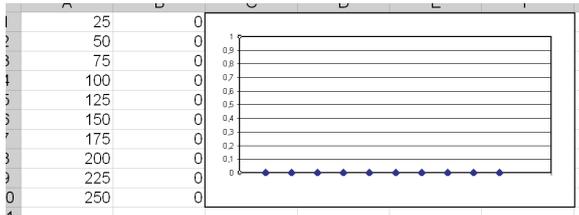
Der Versuchsaufbau erfolgt wie in Kapitel 3.4.1.2 beschrieben, als Kamera wird die Webcam Philips PCVC840K/20 eingesetzt.

3.4.3.3 Versuchsdurchführung

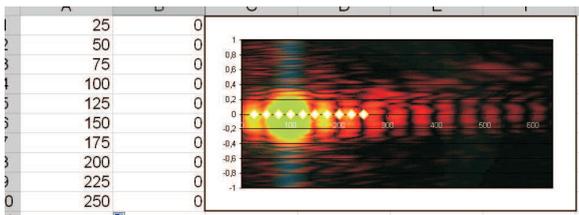
Bevor der Laser aktiviert wird, muss die Kamera aus dem Strahlengang entfernt oder abgedeckt werden, um eine Schädigung des Sensors zu vermeiden. Durch Drehen des Polarisationsfilters wird die Lichtintensität auf ein Minimum eingestellt und die Kamera wieder eingesetzt. Mit Hilfe des Capture-Programms (meist im Lieferumfang der Webcam oder auch des Betriebssystems vorhanden, siehe Kapitel 2.2.2.2) können Lichtintensität und auch Position des Interferenzbildes korrigiert, notwendige Kameraeinstellungen (Belichtungszeit, Verstärkung) vorgenommen und das Interferenzmuster aufgenommen werden. Bei Bedarf kann die



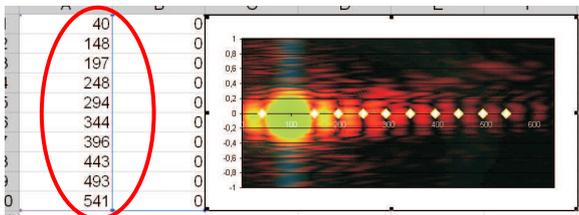
Aufnahme des Interferenzbildes



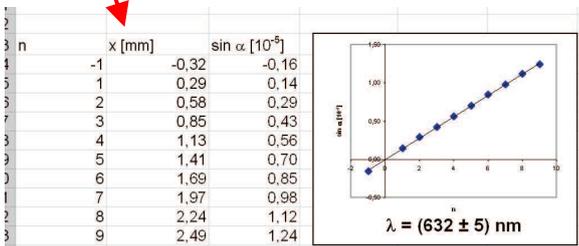
Anlegen eines "Leerdiagramms"



Einfügen des Bildes, Anpassung der Skalierung



Markierung der Minima



Auswertung der Positionsdaten

Abbildung 3.42: Auswertung eines Interferenzbildes mit Microsoft Excel

begrenzte Breite des CCD-Chips der Kamera durch eine sequentielle Aufnahme von Teilbildern ausgeglichen und durch Zusammenfügen mit Hilfe eines üblichen Programms zur Erstellung von Panoramabildern (z.B. Autostitch (Brown, 2008)) ein wesentlich größerer Bildsensor simuliert werden (siehe z.B. Abbildung 3.40). Auch hier sollte bei der Untersuchung von Mehrfachspalten das Beugungsmuster des Einfachspaltes durch Abdecken separat aufgenommen werden.

3.4.3.4 Auswertung

Die Auswertung der Bilder erfolgt mit der Tabellenkalkulationssoftware Microsoft Excel (s. Abbildung 3.42). Dafür müssen sowohl die Breite C_m des CCD-Chips in m als auch in Bildpunkten (Pixel, C_p) sowie die Breite B_p des Bildes in Pixel bekannt sein.

In einem Arbeitsblatt wird eine zweispaltige Tabelle erstellt. Diese sollte mindestens so viele Zeilen besitzen wie Minima bzw. Maxima vorhanden sind. Die Werte in der Tabelle sind prinzipiell noch beliebig, es empfiehlt sich allerdings, einen konstanten Wert für die Werte der senkrechten Achse und gleichmäßig zwischen Null und der Bildbreite verteilte Werte für die waagerechte Achse zu wählen.

Auf Basis dieser Tabelle wird mit Hilfe des Diagramm-Assistenten (erreichbar über „Diagramm...“ im Menü **Einfügen** oder die Schaltfläche ) ein x-y-Diagramm generiert. Die Software ermöglicht es, das zu untersuchende Bild als Hintergrundbild dieses Diagramms („Zeichnungsfläche“) zu definieren. Dies geschieht über den Befehl „Zeichnungsfläche formatieren...“ im Kontextmenü (Rechtsklick mit der Maus auf den entsprechenden Bereich). Die Skalierung in x-Richtung muss über einen Doppelklick auf die Skala und die Eingabe der Werte an die Breite des Fotos angepasst werden, d.h. $x_{max} - x_{min} = B_p$. Verschiebt man nun per „Drag & Drop“ einen Datenpunkt im Diagramm, werden dabei die Werte der zu Grunde liegenden Tabelle automatisch angepasst; man erhält damit die Pixelposition x_p der Extrema auf dem Bildsensor. Zur Berechnung des Ortes x in m erhält man mit der Chipbreite (C_m und C_p):

$$x = \frac{C_m \cdot x_p}{C_p} \quad . \quad (3.21)$$

Mit diesen Daten und der jeweils zugehörigen Ordnung des Maximums oder Minimums kann jetzt (unter Beachtung des Vorzeichens der Ordnung, siehe Abbildung

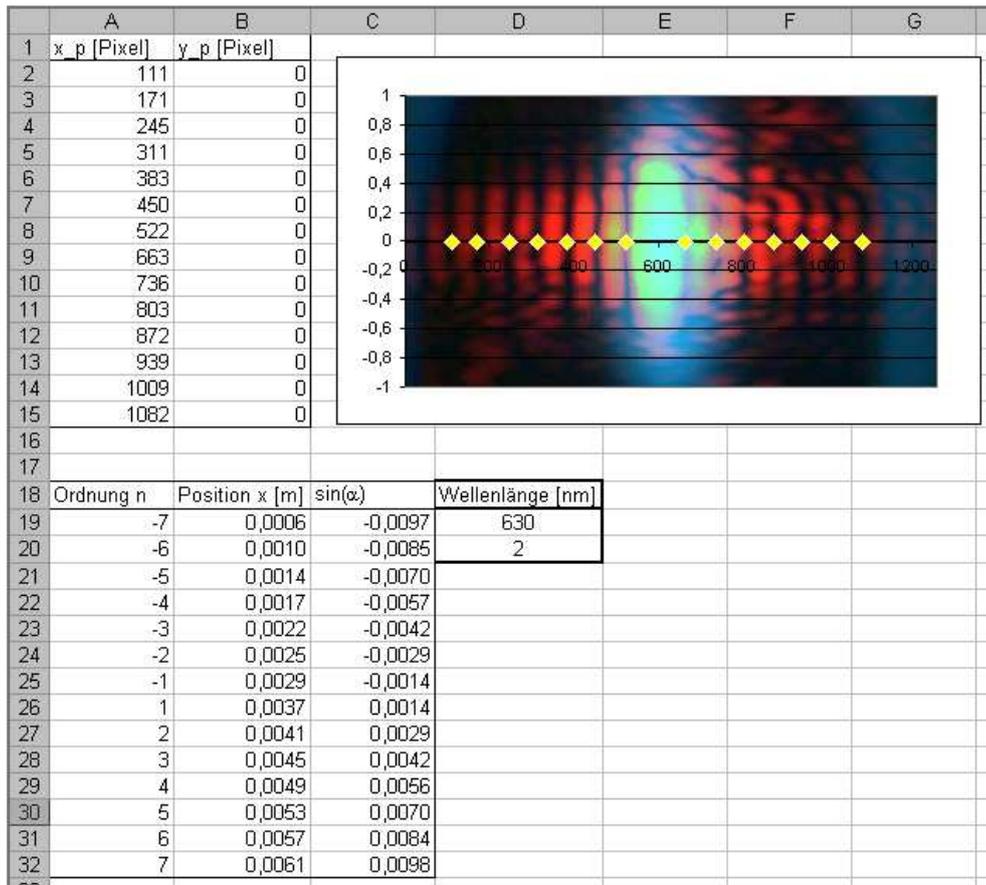


Abbildung 3.43: Die Auswertung des Bildes in Excel

3.43) eine neue Tabelle im Arbeitsblatt erstellt werden. Durch paarweise Mittelwertbildung der Ortswerte Extrema gleicher Ordnung (bzw. durch Berechnung des Mittelwertes aller Ortskoordinaten, falls links und rechts vom zentralen Maximum die gleiche Anzahl von Extrema zur Auswertung herangezogen werden) erhält man die Verschiebung des Interferenzmusters in x-Richtung (x_{korr}). Nun kann in einer neuen Spalte der bestehenden Tabelle die Größe $\sin(\alpha) = (x - x_{korr})/\ell$ definiert werden. Unter Verwendung der Excel-Funktionen „RGP“ und „INDEX“ besteht die Möglichkeit, aus diesen Werten die Größe $\frac{\sin(\alpha)}{n}$ zu berechnen, aus der sich die Wellenlänge oder Spaltbreite bzw. Gitterkonstante ergibt (siehe Kapitel 3.1.2.3 bzw. Gleichung 3.4 und 3.5). Unter Berücksichtigung des aktuellen Tabellenlayouts und der Spaltbreite kann dies durch die Eingabe der Formel

$$=RUNDEN(INDEX(RGP(C19:C32;A19:A32;1;1);1;1)*0,00045*1000000000;0)$$

erreicht werden; die Ausgabe erfolgt dann gerundet in nm. Die Standardabweichung berechnet sich in diesem Beispiel durch:

=RUNDEN(INDEX(RGP(C19:C32;A19:A32;1;1);2;1)*0,000455*1000000000;0)

3.4.3.5 Messbeispiel

Abbildung 3.44 zeigt das Beugungsmuster von grünem Laserlicht ($\lambda = 540 \text{ nm}$) an einem Einzelspalt ($d = 0,45 \text{ mm}$). Als Korrekturlinse wurde eine Sammellinse mit der Brennweite $f_{Korr} = +200 \text{ mm}$ verwendet. Für die in Kapitel 3.4.3.4

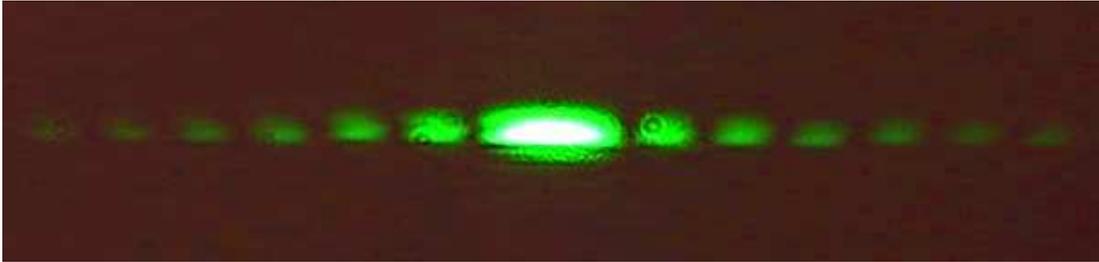


Abbildung 3.44: Das Beugungsmuster eines Einfachspaltes ($d = 0,45 \text{ mm}$, $\lambda = 540 \text{ nm}$)

beschriebene Methode zur Auswertung in Microsoft Excel eignen sich für die Automatisierung wiederkehrender Messaufgaben (z.B. Bestimmung der Wellenlänge) die kombinierte Nutzung von Formularen und Makros. Ein Bildschirmfoto einer mit solchen Werkzeugen ausgestatteten Excel-Arbeitsmappe zur Bestimmung der Wellenlänge aus Einzelspalt-Beugungsmustern ist in Abbildung 3.45 zu sehen. Im Formular erfolgt dabei die Eingabe der Daten über CCD-Chip, Bildgröße, Abstand ℓ und der Spaltbreite. Nach dem Laden des zu analysierenden Bildes wird dann automatisch ein Diagramm mit diesem als Hintergrund erstellt. Die Anzahl der erkennbaren Minima und deren Verteilung (rechts und links vom Hauptmaximum) kann der Benutzer über entsprechende Schaltflächen eingeben, dadurch wird auch die dem Diagramm zugrunde liegende Tabelle angepasst. Nach der Positionsbestimmung der Minima löst ein Klick auf „Start“ die eigentliche Berechnung der Wellenlänge aus, die zusammen mit der Umrechnung der Positionswerte, der Korrektur der Nullpunktverschiebung und der Bestimmung des Wertes $\frac{\sin \alpha}{n}$ im Hintergrund geschieht. Als Ausgabe erhält man zum einen den Wert λ inklusive des aus den Messdaten errechneten Standardfehlers, zum anderen wird im Diagramm selbst die Intensitätsverteilung zu visuellen Überprüfung dargestellt.

Die Wellenlänge in diesem Messbeispiel wurde mit

$$\lambda_{exp} = (538 \pm 2)\text{nm}$$

ermittelt und stimmt innerhalb der Fehlergrenzen mit dem erwarteten Wert überein.

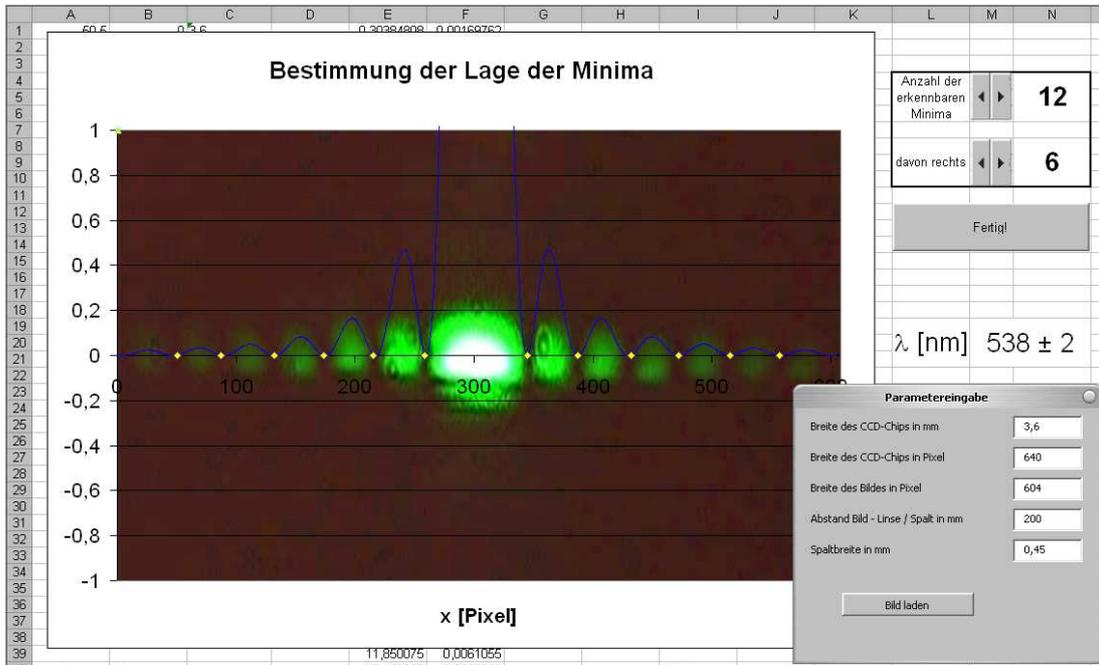


Abbildung 3.45: Die halbautomatische Auswertung von Beugungsbildern mit Excel

Kapitel 4

Vergleichende Analyse

4.1 Modulare Interfacesysteme und LowCost Interfaces

4.1.1 Funktionalität

Die Grundvoraussetzung für die Nutzung von Computerunterstützten Messwertfassungssystemen ist die Erfüllung der gegebenen **Systemanforderungen** an die genutzten Computer. Tabelle 4.1 listet die jeweils vom Hersteller geforderten Minimalwerte, soweit angegeben auf.

System	Betriebssystem	CPU	RAM	HDD	Grafik	sonstiges
Cassy-S/ Cassy Lab	MS Windows 95/98/Me/ NT/2000/XP	Pentium	16MB	20MB	800x600, 8 bit	RS232 oder USB-Port
Cobra3/ Measure	MS Windows 95 und höher			80MB		RS232
Coachlab II ⁺ / Coach 6	MS Windows 98/2000/XP	vergleichbar Pentium III 500MHz	192MB	150MB	800x600, 16 bit	USB-Port DirectX 9.0c Internet Explorer 6
XLSmess (incl. MS Excel)	MS Windows 95/98/NT/ 2000/XP	vergleichbar Pentium 266MHz	32MB	360MB	800x600, 8 bit	RS232

Tabelle 4.1: Die minimalen Systemanforderungen der getesteten Systeme (Quellen: Kędzierska u. a., 2007; Hartmann, 2003; Hund u. a., 2007a; Weißel u. a., 2007)

Es zeigt sich, dass alle getesteten Systeme gut auch mit älteren Rechnern zusammenarbeiten. Tatsächlich stellt das Low-Cost Interface XLSmess die höchsten Ansprüche, falls die neueste Version der Tabellenkalkulation Microsoft Excel genutzt werden soll, so werden in diesem Falle bis zu 1,5 Gigabyte freier Speicher-

platz auf der Festplatte zur Installation gefordert (Microsoft, 2008). Als Betriebssystem wird softwareseitig nur Microsoft Windows unterstützt, obwohl z.B. im Fall von CASSY-S die Hardware auch unter dem System Linux eingesetzt werden kann.

Modulare Messwerterfassungssysteme zeichnen sich definitionsgemäß durch eine breite Palette vom **Messmöglichkeiten** aus, durch die Erweiterbarkeit um beliebige Sensoren bzw. Module ist jeweils eine große Anzahl erfassbarer Messgrößen gegeben (siehe die Tabellen 2.1, 2.2, 2.4 und 2.6 bzw. 2.7). Dadurch ist der Einsatz in vielen Teilgebieten der Physik gewährleistet. Die einzige Ausnahme bildet hier XLSmess, das zwar durch das technische Konzept (Nutzung von Digitalmultimetern als Sensor) in der Grundkonfiguration das weiteste Angebot an Messmöglichkeiten bietet, aber insbesondere durch die geringe Auswahl von Aufsteckmodulen in vielen Bereichen beschränkt oder gar nicht nutzbar ist (z.B. Kernphysik).

System	Messgrößen	Messbereiche	gleichzeitig erfassbare Größen	
			ohne Sensoren	mit Sensoren
Sensor-Cassy (Cassy-S/ Cassy Lab)	Spannung Strom	0,3 V - 100 V 0,1 A - 3 A	2	2
BASIC-UNIT (Cobra3/ Measure)	Spannung Spannung Zeiten Ereignisse	0,1 V - 10 V 10 V - 30 V	3	4
Coachlab II ⁺ / Coach 6	Spannung Ereignisse	5 V - 10 V	2	6
XLSmess (incl. TECPEL 8061)	Wechselspannung Gleichspannung Strom Widerstand Frequenz Kapazität Temperatur	4 V - 750 V 400 mV - 1000 V 400 μ A - 10 A 400 Ω - 400 M Ω 5 Hz - 10 MHz 40 nF - 100 μ F -40 °C - 1000 °C	2	3

Tabelle 4.2: Messmöglichkeiten mit den Basis-Interfaces (Quellen: Kędzierska u. a., 2007; Hartmann, 2003; Hund u. a., 2007a; Weißel u. a., 2007)

Auch ohne zusätzliche Sensoren können mit allen Systemen Messungen durchgeführt werden. Tabelle 4.2 listet die messbaren Größen und Messbereiche der Basis-Interfaces auf. Hier zeigt sich, dass die Messbereiche durchaus stark variieren, zum Teil auch systemintern. So erlaubt die BASIC-Unit (System Cobra3/Measure) nur die Messung von kleinen Spannungen auf einem Kanal, der

zweite Eingang zur Spannungsmessung bietet als kleinsten Messbereich 10 V, auch existiert kein Modul zum Nachrüsten dieser Funktion. Für Coachlab II⁺ liegt der minimale Messbereich bei 5 V, dieses Manko kann allerdings durch Verwendung von Sensoren behoben werden.

Die Verwendung von zu großen Messbereichen wirkt sich zudem auf die **Genauigkeit der Messungen** aus: zwar besitzen alle untersuchten modularen Computerunterstützten Messwerterfassungssysteme ein Auflösungsvermögen von 12 bit, das aber nur bei Erreichen des Messbereichsendwertes komplett ausgenutzt werden kann. Deutlich wird das bei der Untersuchung der in Kapitel 3.3 vorgestellten Versuche. Das System CASSY-S/CASSY Lab ermöglicht in der beschriebenen Konfiguration für die Ortsbestimmung eine Genauigkeit von ca. 0,1 mm, was einem Spannungsabfalls von 0,3 V auf 0,2 m am Konstantendraht entspricht. Eine entsprechende Auflösung verlangt bei Cobra3/Measure einen Spannungsabfall von 5 V bzw. bei Coachlab II⁺/Coach 6 einen Spannungsabfall von 2,5 V.

Ohne zusätzliche Module und Sensoren erlaubt jedes System die gleichzeitige Erfassung von mindestens zwei Größen (siehe Tabelle 4.2). Bezieht man die Nutzung dieser Erweiterungen mit ein, so sticht vor allem das System Coachlab II⁺/Coach 6 hervor, das die Aufnahme von 6 verschiedenen Messgrößen parallel gestattet. Im Gegensatz dazu ermöglichen die Systemfamilien Cobra3/Measure und CASSY-S/CASSY Lab allerdings die Kaskadierung mehrerer Interfaces und damit sogar hardwareseitig (theoretisch) die Aufnahme von 64 (Cobra3/Measure) bzw. 16 Messgrößen (CASSY-S/CASSY Lab) gleichzeitig.

Neben der Anzahl der **(gleichzeitig) verarbeitbaren Messgrößen** und deren Messgenauigkeit spielt auch die zeitliche Auflösung der Messung, d.h. die **Messfrequenz**, eine große Rolle. So erlaubt das System XLSmess maximal 1 Messung pro Sekunde, was auch für die eigentlich zeitlich nicht kritische Aufnahme von Interferenzmustern zu gering ist: Die so notwendige geringe Verschiebungsgeschwindigkeit des Sensors birgt zum einen praktische Probleme und verlängert die Dauer zur Versuchsdurchführung auf bis zu einige Minuten. Die höchstmöglichen Messfrequenzen der übrigen 3 Messwerterfassungssystemen liegen dagegen in der Größenordnung von 100 kHz. Im realen Versuchsgeschehen hängt diese allerdings sehr stark von den angeschlossenen Sensoren ab. Explizit ist

dies im Handbuch für das Interface Coachlab II⁺ beschrieben (Mioduszevska und Dorenbos, 2005, siehe auch Tabelle 2.3). Aber auch die anderen Systeme unterliegen in dieser Hinsicht Beschränkungen: Im Fall von Cobra3/Measure zeigten die Versuche zur Interferenz, dass bei Messung zweier Spannungen und eines daraus berechneten virtuellen Kanal bei Verwendung des Softwaremoduls PowerGraph die Aufnahme auf 40 Messwerte pro Sekunde beschränkt wird. Einen ähnlichen Effekt bewirkt die Eingabe von Messbedingungen im Messparameter-Fenster von CASSY Lab (siehe Kapitel 3.3.2.3).

Ein Flaschenhals stellt bei allen Computerunterstützten Messwerterfassungssystemen die Verbindung zwischen Interface und Computer dar. Ein extremes Beispiel zeigt hier wieder das LowCost Interface XLSmess auf: Obwohl viele moderne Digitalmultimeter durchaus viele Messungen pro Sekunde vornehmen können, verhindert die langsame Methode der Datenübertragung die Nutzung dieser hohen Messfrequenz (Hartmann, 2003). Aber auch bei den kommerziellen Systemen ist dieses Problem vorhanden. Daher sind diese mit einem internen Speicher ausgestattet, der bei Schwierigkeiten mit der Datenübertragung vor allem aber bei sehr hohen Messfrequenzen die Daten zwischenpuffern kann (Sensor-Cassy: 32000 Messwerte, BASIC-UNIT: 12000 Messwerte, Coachlab II⁺: 64000 Messwerte (Hund u. a., 2007a; Phywe, 2007a; Mioduszevska und Dorenbos, 2005)). Insbesondere in letzterem Fall wird dadurch die **maximale Anzahl erfassbarer Messwerte** auf die durch den Pufferspeicher vorgegebene Zahl begrenzt. Beim System Cobra3/Measure zeigt sich allerdings, dass die tatsächliche Anzahl von Messdaten, die dieser „Überlauf“ aufnehmen kann, nicht mit den in den Datenblättern angegebenen Werten übereinstimmt. Wird z.B. mit dem Softwaremodul Universalschreiber eine Messung von Strom und Spannung inklusive der Berechnung der Leistung durchgeführt, so reduziert sich diese auf 256 Messwerte pro Kanal (siehe Abbildung 4.1 und Phywe, 2007e)). Bei einer Messfrequenz von 200 kHz entspricht dies einer Messdauer von ca. 1 ms. Im Normalfall, d.h. wenn bei niederfrequenten Messvorgängen die anfallende Datenrate kleiner als die maximale Übertragungsrate zwischen Interface und Computer ist, bestimmt allein die Software des Messwerterfassungssystems, wie viele Messwerte aufgenommen werden können. Während CASSY Lab erlaubt, eine nur abhängig vom Speicher-

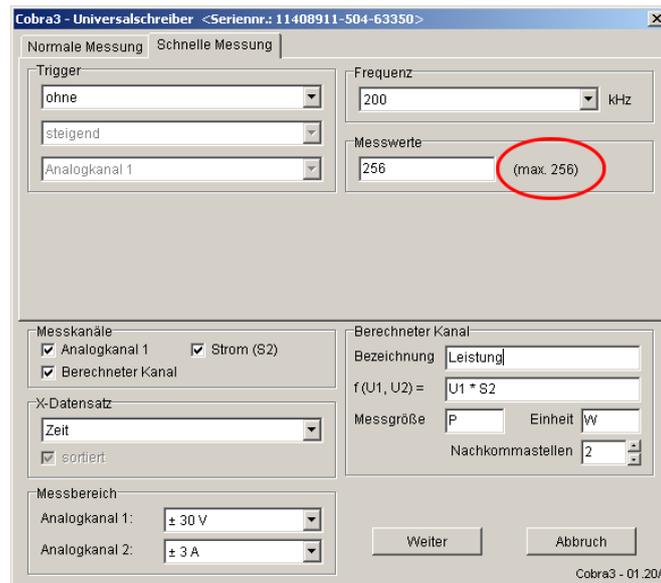


Abbildung 4.1: Begrenzung des internen Speichers der BASIC-UNIT (Quelle: Weißel u. a., 2007)

platz des Computers begrenzte Menge von Messdaten zu erfassen (Hund u. a., 2007a), limitieren Coach 6 und Measure den Messvorgang auf 500000 Messungen (Kędzierska u. a., 2007) bzw. 1000000 Messwerte (Phywe, 2007e). Durch die Begrenzung der maximalen Zeilenanzahl in Microsoft Excel auf 65536 (Ausnahme: In der Version 2007 sind bis zu 1048576 Zeilen möglich) wird ebenfalls die Kapazität des LowCost Interfaces XLSmess beschränkt.

Die Angabe der maximalen Zahl der Messwerte und der Messdauer sind zwei Möglichkeiten, das Ende der Messung zu definieren. Mit Ausnahme von XLSmess, bei dem **Start und Stop** ausschließlich manuell zu erfolgen hat, erlauben die hier vorgestellten Messwerterfassungssysteme zusätzlich weitere Vorgehensweisen, die Aufnahme der Daten auszulösen bzw. zu beenden. CASSY-S/CASSY Lab stellt zwei weitere Mechanismen zur Verfügung: über die Vorgabe eines zu überschreitenden Wertes eines der erfassten Kanäle kann die Messung begonnen werden (Triggerung, Ausnahme: einige Sensoren, z.B. der über die BMW-Box angesteuerte Bewegungsaufnehmer, erlauben dies nicht). Zusätzlich kann für die Speicherung der Messwerte eine Messbedingung einprogrammiert werden (siehe Kapitel 2.1.1.4 bzw. Kapitel 3.3.2.3). Da die Messbedingung nahezu beliebig komplex sein kann, wird sie nur bei Zeitintervallen größer als 100 ms zwischen den

einzelnen Messungen ausgewertet. Auf diese Funktion wurde in Coach 6 verzichtet, so dass nur ein Trigger zum Start der Messwerterfassung eingestellt werden kann. Im Vergleich zu der einheitlichen Regelung dieser Systeme ist die Steuerung bei Cobra3/Measure abhängig vom verwendeten Softwaremodul. So erlaubt z.B. PowerGraph sowohl die Definition von Triggern für Anfang und Ende der Messung als auch die Eingabe von absoluten Uhrzeiten (siehe auch Kapitel 2.1.2.4).

Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme müssen laut der Definition (vgl. Kapitel 1.1.1) die digitale Speicherung der Messwerte zur Weiterverarbeitung ermöglichen. Es ist natürlich zweckmäßig, wenn dies, d.h. die Darstellung und Auswertung, systemintern geschehen kann, das System also **vollständig** in Bezug auf die zur Unterstützung bei Experimenten erforderlichen Fähigkeiten ist. Insbesondere umfasst dies **Analysefunktionen**, die bei der Verarbeitung der Messwerte helfen. Grundlegend dafür ist zunächst einmal die Fähigkeit, gemessene Größen zu einer neuen (nicht direkt messbaren) Größe zu verrechnen. In den vorgestellten Versuchen zur Interferenz und Beugung ist dies z.B. zur Ermittlung der Sensorenposition durch Messung des Spannungsabfalls am Konstantendraht notwendig (siehe Kapitel 3.3.1.1). Die untersuchten Systeme realisieren dies auf unterschiedliche Weise. Dabei nutzt XLSmess die durch Excel vorgegebenen Möglichkeiten einer Tabellenkalkulation, so dass für jede einzelne Zelle nahezu beliebige Formeln definiert werden können. Einen vom Prinzip her ähnlichen Ansatz verfolgen auch Coach 6 und CASSY Lab, allerdings ist hier eine Berechnung nur spaltenweise möglich (vgl. Kapitel 2.1.1.4 und 2.1.3.5). Dafür stehen allerdings spezielle Funktionen (z.B. (numerische) Ableitung und Integral oder die Erstellung eines Histogramms aus den Messdaten) zur Verfügung. Die Verrechnung von Größen kann während des Versuchs oder nachträglich erfolgen. Unter Measure ist eine Echtzeitberechnung nur mit Hilfe der Softwaremodule Universalschreiber und PowerGraph möglich („berechneter Kanal“ bzw. „virtuelle Messgeräte“, siehe Kapitel 2.1.2.4). Erweiterte Funktionen sind nur bei der nachträglichen Kanalumwandlung (Kapitel 2.1.2.5) verfügbar.

Darüber hinausgehend bieten die untersuchten Computerunterstützten Messwerterfassungssysteme auch weiterführende Möglichkeiten zur Auswertung von Messdaten. Die Stärken von XLSmess bzw. Excel liegen dabei in der Durchfüh-

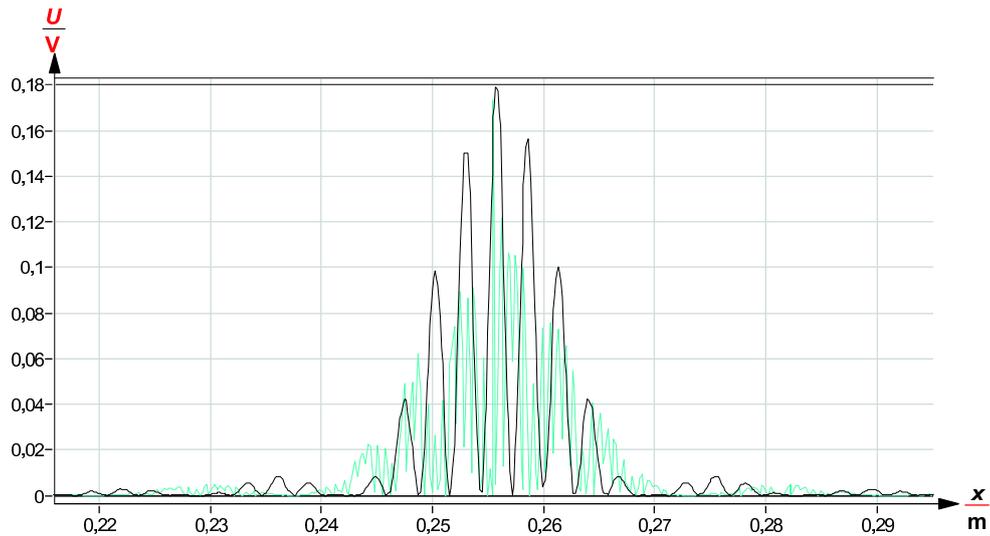


Abbildung 4.2: Kurvenfit mit Measure (schwarz: theoretische Intensitätsverteilung bei der Interferenz am Doppelspalt, grün: Versuch eines Kurvenfits mit festen Parametern)

rung von einfachen statistischen Berechnungen (z.B. Mittelwert und Standardabweichung) bis hin zur Anpassung von Geraden und Exponentialfunktionen an die Messwerte (siehe auch Kapitel 2.1.4.5 und 3.4.3.4). Eine breitere Auswahl von vorgegebenen Funktionen für eine Ausgleichsrechnung (Kurvenfit) beinhalten die Programme CASSY Lab, Coach 6 und Measure (siehe Kapitel 2.1.1.5, 2.1.2.5 und 2.1.3.5). Measure und CASSY Lab erlauben zudem noch die Definition von eigenen Vorschriften für den freien Kurvenfit. Die konkrete Anwendung bei der Untersuchung von Interferenzmustern ergab allerdings, dass nur CASSY Lab mit den hier verwendeten, komplexen Funktionen sinnvolle Ergebnisse lieferte. Der Algorithmus des Programms Measure versagte selbst bei fester Vorgabe der eigentlich zu errechnenden Parameter. Allgemein herrscht zudem ein Mangel an Angaben über die Güte der durchgeführten Anpassungen bzw. eine Definition, auf welche Art und Weise diese zu bewerten ist.

Schlägt ein Auswertungsversuch fehl, so ist der Benutzer auf **Export- bzw. Import-Funktionen** angewiesen, um die aufgenommenen Messdaten mit Hilfe der Softwarekomponente eines anderen Messwerterfassungssystems oder eine beliebigen Hilfsprogramm zu analysieren. Alle untersuchten Systeme erlauben mindestens die Weitergabe der Messwerte im „universellen“ Textformat. Export und Import sind dabei alternativ durch die Speicherung der Messdaten als Datei

System	Exportformate	Importformate	Export über die Zwischenablage	Import
Cassy-S/Cassy Lab	Textdatei	Textdatei	ja	nein
Cobra3/Measure	Textdatei	-	ja	ja
Coachlab II ⁺ /Coach 6	Textdatei DIF-Datei	Coach Ergebnis Textdatei Coach 4 DIF-Datei	ja	ja
XLSmess (Microsoft Excel)	Textdatei DIF-Datei diverse Tabellenkalkulations- und Datenbankformate		ja	ja

Tabelle 4.3: Export- und Importmöglichkeiten (Quellen: Kędzierska u. a., 2007; Hund u. a., 2007a; Weißel u. a., 2007)

oder durch den Transport über die Zwischenablage möglich (siehe Tabelle 4.3), die Ausnahmen bilden hier CASSY Lab (kein Import mit der Zwischenablage, beim Import von Daten aus einer Textdatei müssen gegebenenfalls die Kopfzeilen ergänzt werden, siehe Kapitel 3.4.2.5) und Measure (fehlende Möglichkeit, Dateien zu importieren). Auffällig ist, dass selbst zwischen den Programmen CASSY Lab und VideoCom Intensitäten/Bewegungen (beide LD Didactic) kein direkter Datentransfer möglich ist.

Um Versuchsanordnungen zu optimieren ist es oftmals sinnvoll, Abläufe zu automatisieren, d.h. einzelne Komponenten des Versuchsaufbaus zu **steuern** oder zu **regeln**. Die Systeme der Hersteller LD Didactic und CMA bieten diese Möglichkeit schon in den Basis-Interfaces. In das Interface Sensor-CASSY integriert ist zum einen eine Pulsweitenmodulierte Spannungsquelle, zum anderen können aber auch über ein Relais externe Hilfsgeräte durch die Software CASSY Lab gesteuert werden. Bei Nutzung des Moduls Power-Cassy steht zudem ein flexibler Funktionsgenerator zur Verfügung (vgl. Kapitel 2.1.1.1). Das Messwerverfassungssystem Coachlab II⁺/Coach 6 unterstützt bis zu 4 Ausgänge, über die Elemente („Aktuatoren“, z.B. Lampen, Motoren oder spezielle Hilfsmittel wie Motor-Büretten) kontrolliert werden können, auch hier ist die Spannung durch Pulsweitenmodulation einstellbar (Kapitel 2.1.3.1). Das Cobra3-Interface BASIC-UNIT beinhaltet in der Grundausstattung nur eine nicht konfigurierbare Spannungsquelle zur Stromversorgung von Lampen oder Lichtschranken, ein Funktionsgenerator (Phywe, 2007b) kann allerdings über ein Aufsteckmodul nachgerüstet werden. Bei der Nutzung von XLSmess kann eine zusätzlich vorhandene serielle Schnittstelle zur

Steuerung von Zusatzkomponenten (z.B. die XLS-Relais-Box, vgl. Kapitel 2.1.4.4 und Hartmann, 2003) verwendet werden.

4.1.2 Benutzerfreundlichkeit

Die Benutzerfreundlichkeit eines Computerunterstützten Messwerterfassungssystems ist sicherlich am schwersten objektiv zu beurteilen. Bei der Analyse der in Kapitel 2 und 3 beschriebenen Systeme und Versuche traten trotzdem Aspekte hervor, die sich positiv oder negativ auf die Nutzbarkeit auswirken.

Der erste Schritt zur Verwendung eines Computerunterstützten Messwerterfassungssystems ist die **Installation** der Soft- und Hardware. Bei allen vier modularen Systemen geschieht dies mit Hilfe eines Installationsassistenten, der automatisch sowohl das Kopieren der Dateien als auch die notwendigen Konfigurationen des Systems (Erstellung der Startmenüeinträge und Registrierung der Dateitypen) erledigt. Negativ fällt hier nur Cobra3/Measure auf, da für alle Softwaremodule (Messgeräte) einzeln Freischaltcodes eingegeben werden müssen, eine Prozedur die vor allem bei Mehrfachinstallationen sehr zeitraubend ist. Eine **Deinstallations**routine wird nur beim Produkt von LD Didactic mitgeliefert, bei allen anderen Systemen ist der Benutzer auf die entsprechenden Prozeduren des Betriebssystems angewiesen.

Bei der Nutzung der Messwerterfassungssysteme fällt auf, dass die grundsätzlichen Konzepte der Softwarekomponenten sehr unterschiedlich sind. Während das System CoachLab II⁺/Coach 6 durch die Konzeption als Autorensystem die Erstellung einer umfassenden Lernumgebung mit dem Experiment als Mittelpunkt erlaubt, steht bei CASSY-S/CASSY Lab die Erfassung, Darstellung und Auswertung vieler verschiedener Größen (gleichzeitig) im Vordergrund. Cobra3/Measure begünstigt durch die Messgeräte-Methode (siehe Kapitel 2.1.3.4) insbesondere die komfortable Aufnahme einzelner Messgrößen. XLSmess dagegen spielt seine Vorteile hauptsächlich in einem Unterrichtskonzept aus, das die Nutzung des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel beinhaltet.

Diese unterschiedlichen Ansätze gehen auch mit unterschiedlichen Bedienkonzepten einher, wobei es allerdings systemübergreifend auch sehr ähnliche Verfahrensweisen gibt. So gibt es generell vier verschiedene Methoden, um auf die

Funktionen der Programme zuzugreifen:

- Die Nutzung einer Menüstruktur,
- auf Symbolleisten verteilte Schaltflächen,
- über die rechte Maustaste aufrufbare Kontextmenüs und
- Tastenkombinationen oder „Hotkeys“.

Alle vier Möglichkeiten sind in Microsoft Excel integriert, das ja der zentrale Bestandteil für Darstellung und Auswertung des Systems XLSmess ist. Tatsächlich zeigt dieses Programm eine **(quasi-) standardisierte Benutzeroberfläche**, wie sie in vielen unter Windows laufenden Softwareprodukten zu finden ist. Diese beinhaltet eine Menüstruktur, über die alle verfügbaren Funktionen oder Prozeduren aufgerufen werden können. Die am häufigsten benötigten Befehle sind zusätzlich durch Schaltflächen (meist im oberen Fensterbereich in der Nähe der Menüleiste platziert) und Tastenkombinationen erreichbar, während ein Rechtsklick mit der Maus ein Menü mit speziell für das ausgewählte Objekt verwendbaren Aktionen öffnet. Auch wenn die Frage, ob ein solches Benutzerinterface als ideal zu bewerten ist, nur sehr schwer zu beantworten ist, so erleichtert diese „Standardisierung“ die Benutzung, vor allem aber die Erlernung der Funktionsweise verschiedener Systeme durch die bekannte Grundstruktur. Diese standardisierte Benutzeroberfläche ist in den Softwarekomponenten der drei anderen Messwerterfassungssystemen nur teilweise integriert. In CASSY Lab fehlt eine Menüstruktur vollständig, alle Funktionen sind auf die Symbolleiste und die Kontextmenüs verteilt, ähnlich wie in Coach 6, wo allerdings, hauptsächlich ergänzend, ein reduziertes Menüsystem genutzt wird. Einzig Measure listet alle vorhandenen Funktionen der Software in den Menüs auf, bietet andererseits aber nur sehr beschränkte Kontextmenüs.

Auffällig ist, dass nicht jede Software ein uneingeschränkt **durchgängiges Bedienkonzept** aufweist, das heißt, dass nicht in jedem Fall gleiche Aktionen auch zu einem gleichen Ergebnis führen bzw. dass Programmteile mit ähnlichen Funktionen große Unterschiede in Aussehen und/oder Bedienung aufweisen. Im Fall von Coach 6 betrifft dies z.B. die Funktion der Lupe, d.h. das Vergrößern von

Teilen des aus den Messwerten gebildeten Graphen. Dies bewirkt für einige der Analysefunktionen eine Auswahl des zu bearbeitenden Datenbereichs, während andere Funktionen diese ignorieren. In Measure wiederum differieren die Dialoge zur Parametereingabe je nach ausgewähltem Softwaremodul (Messgerät) sehr stark, so dass selbst identische Funktionen unterschiedlich in Aussehen und Position (teilweise sogar in Funktion, z.B. die Einstellung von Trigger und Messdauer) erscheinen.

Analog zur Software zeigt auch der Blick auf die Messhardware unterschiedliche Ausprägungen eines durchgehenden Bedienkonzeptes. Dies betrifft insbesondere den **Anschluss von Sensoren**. Am einheitlichsten präsentieren sich hier die Systeme XLSmess (Anschluss der Messgeräte an die MULTIBOX) und CoachLab II⁺/Coach 6 (Nutzung von BT-Steckern bei allen aktuellen Sensoren der Firma CMA). Bei den Systemen CASSY-S/CASSY Lab und Cobra3/Measure sorgt das System der Sensorboxen/Module für eine größere Zahl unterschiedlicher Anschlussmethoden, aber auch in diesem Gebiet wurden in den letzten Jahren Schritte zur Vereinheitlichung unternommen. Einzig der Bereich Timer/Counter der BASIC-UNIT (Cobra3) birgt ein Schwierigkeitenpotential, da hier anzuschließende Lichtschranken oder Bewegungsaufnehmer frei verkabelt werden müssen (siehe Abbildung 2.6), was insbesondere unerfahrenen Benutzern Schwierigkeiten bereiten kann.

Gerade für diese sind die von allen Computerunterstützten Messwernerfassungssystemen (Ausnahme: XLSmess) mitgelieferten **Beispielexperimente** nützlich, anhand derer die Funktionsweise von Hard- und Software nachvollzogen werden kann. Nur in CoachLab II⁺/Coach 6 existiert zusätzlich auch noch ein Tutorial. Dies sind Aktivitäten, die in die Nutzung der wichtigsten Funktionen zur Erfassung, Darstellung und Auswertung von Messwerten einführen. Allerdings waren diese Aktivitäten zum Zeitpunkt der Analyse der Systeme nur in englischer Sprache erhältlich.

Nicht nur für Einsteiger wichtig sind die **Hilfe bzw. die Dokumentation** von Hard- und Software. Bei den untersuchten Systemen bestehen diese jeweils aus zwei Teilen: der kontextbezogenen Online-Hilfe und dem gedruckten (oder zumindest druckbaren) Handbuch. Der Umfang und die Qualität dieser Kompo-

nenten sind dabei sehr unterschiedlich. Bei CASSY-S/CASSY Lab sind Handbuch (Hund u. a., 2007a) und Online-Hilfe textidentisch. Auf den über 500 Seiten werden aktuell und umfassend sowohl Hard- und Software als auch die mitgelieferten Beispielerperimente beschrieben. Auf Versuchsbeschreibungen wurde dagegen in der Hilfe zu Coach 6 verzichtet. Auch fehlt für die, durchaus ausreichende, Hilfefunktion im Programm die deutsche Übersetzung, gleiches gilt für die separate Dokumentation des Interfaces CoachLab II⁺ (Mioduszewska und Dorenbos, 2005). Im Gegensatz dazu wurde das Handbuch für die Software Coach 6 bereits in die deutsche Sprache übertragen (Coach6, 2008, 156 Seiten), enthält allerdings, zumindest in der vorliegenden ersten Version, noch einige Übersetzungsfehler (ähnliches gilt auch für die Software selbst). Wesentlich reduzierter gibt sich das Hilfesystem von XLSmess, das nur zu einigen wenigen Themen Informationen bietet. Ein Handbuch wird in zwei Versionen (Hartmann, 1999, 2003) mitgeliefert, die leicht unterschiedliche Versionen der Software beschreiben. Die Dokumentation ist in beiden Fällen sehr oberflächlich und wirkt unaufgeräumt. Auch die Dokumentation von Cobra3/Measure gestaltet sich spartanisch. Das siebenseitige Handbuch und die Online-Hilfe beinhalten nur Kurzinformationen zur Software und beziehen sich zudem auf eine ältere Version. Einige Module und Funktionen (wie z.B. PowerGraph) werden gar nicht erläutert. Außerdem kann die Hilfefunktion nicht, wie bei den drei anderen Programmen, direkt aus Measure heraus gestartet werden, die entsprechenden Schaltflächen sind ohne Funktion, die Software ist in diesem Punkt fehlerhaft.

Auch der Versuch, gespeicherte Messungen ohne vorherigen Start von Measure direkt aus dem Explorer¹ zu öffnen, zeigt einen reproduzierbaren **Softwarefehler** („Bug“) auf: Zwar wird die Software gestartet, die Messung aber nicht geladen. Weiterhin fielen Schaltflächen auf, die keine oder nicht die angegebene Wirkung hatten, z.B. konnten die Ergebnisse der Peakanalyse (siehe Kapitel 2.1.2.5) nicht kopiert werden. Auch in XLSmess finden sich solche Fehler, so sind einige der Optionsfelder des Startbildschirms nicht funktional (z.B. hatte die Aktivierung oder Deaktivierung der Optionen „Einzelwerte ohne Nummerierung bzw. Zeitangabe“

¹Der Windows Explorer ist eine Applikation unter dem Betriebssystem Microsoft Windows, die unter anderem Zugriff auf das Dateisystem bietet.

und „Vor dem Start geladene EXCEL-Datei verknüpfen“ keine Auswirkungen). In seltenen Fällen konnten aber auch bei den Systemen (nicht reproduzierbare) Fehlfunktionen beobachtet werden, unter anderem stürzte das Programm CASSY Lab während der Kanalauswahl ab. Die Hardware präsentierte sich in fast allen Fällen zumindest zu Beginn der Nutzung fehlerfrei, die einzige Ausnahme bildet das Interface MULTIBOX von XLSmess, bei dem es auf Platz 1 immer wieder zu Fehlübertragungen der Daten kommt (siehe Abbildung 4.3), wie sich bei der Durchführung der Versuche zur Interferenz und Beugung herausstellte.

	A	B	C	D
1		U1	U2	
2	0	-125,9	21,2	
3	1	-126	25,8	
4	2	-125,9	29,4	
5	3	-126,3	21,2	
6	4	-128	22,8	
7	5	-130	29,2	
8	6	-65398	30,1	
9	7	-132,8	22,2	
10	8	-134	19,8	
11	9	-135	26,8	
12	10	6711	36,2	
13	11	6711	45,4	
14	12	6711	51,4	
15	13	-138,2	47,8	
16	14	-138,7	40	
17	15	-139,2	34,7	
18	16	65398	24,7	
19	17	-139,8	20,4	

Abbildung 4.3:
Fehlerhafte
Datenübertragung mit
XLSmess

Nicht nur durch Fehler in Hard- und Software sondern auch durch Fehler in der Bedienung (Benutzerfehler) kann es zu Datenverlusten kommen. Am besten geschützt dagegen zeigt sich das Tabellkalkulationsprogramm Microsoft Excel, zum einen durch die Möglichkeit des **automatischen Speicherns** in einstellbaren Zeitintervallen und zum anderen durch die **Undo-Funktion**, die es erlaubt, unbeabsichtigte Eingaben rückgängig zu machen. Lediglich diese Funktion ist in zweien der Systeme (Cobra3/Measure und Coachlab II⁺/Coach 6) implementiert, steht aber nur im Falle einiger weniger Benutzeraktionen zur Verfügung. Das einzige in allen Programmen vorhandene Sicherheitsmerkmal sind Dialogfenster, die vor dem Überschreiben bzw. dem Verlust der Daten beim Schließen der Anwendung warnen. Im Fall von Measure allerdings sind die entsprechenden Schaltflächen bzw. die Fragestellung (Änderungen speichern oder verwerfen) genau

umgekehrt zu der aus vielen anderen unter Microsoft Windows nutzbaren Programmen (z.B. auch CASSY Lab) gewohnten Anordnung positioniert (siehe Abbildung 4.4), was im Laufe des Systemtests mehrmals zum Datenverlust führte.

Softwarefehler und fehlende Funktionen sind ein großes Hindernis für den Einsatz von Computerunterstützten Messwerterfassungssystemen. Positiv ist daher die Tatsache, dass zumindest die Systeme CASSY-S/CASSY Lab, Cobra3/Measure

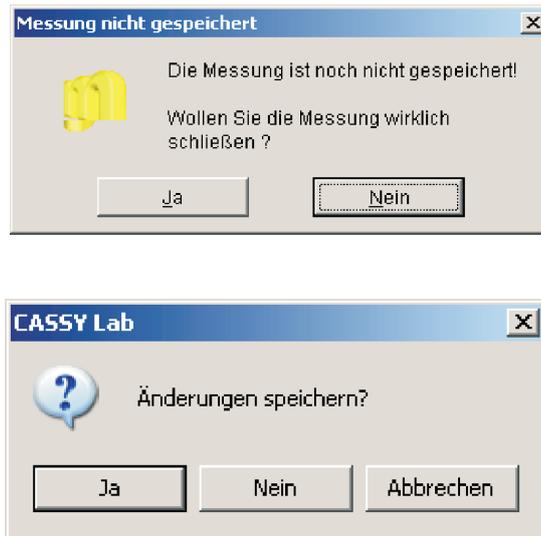


Abbildung 4.4: Sicherheitsabfragen bei Measure und CASSY Lab (Quelle: Hund und Wietzke, 2007; Weißel u. a., 2007)

und Coachlab II⁺/Coach 6 in dieser Hinsicht aktuell weiterentwickelt werden, d.h. dass es innerhalb des letzten Jahres mindestens eine Aktualisierung (**Update**) der Anwendungen gab. Diese müssen allerdings manuell ausgeführt werden, teilweise durch komplette Neuinstallation der Software, es stehen keine separaten Update-Routinen zur Verfügung.

4.1.3 Unterrichtspraktische Aspekte

Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme müssen für die Nutzung im Physikunterricht auch den Anforderungen von Schülerexperimenten in Hinblick auf **Sicherheit** und **Robustheit** genügen. Bis auf Cobra3/Measure erwiesen sich die Systeme durchgehend als sehr **robust**. Bei genanntem System jedoch traten bereits nach kurzer Nutzung (elektronische und mechanische) Defekte an 2 Modulboxen, einem Sensor und einem Netzteil auf, so dass auch eine **Gefährdung** des Experimentators nicht ausgeschlossen war. Berücksichtigt werden muss allerdings, dass nur durch diese Erfahrungen natürlich keine generelle Aussage über die Robustheit dieser Geräte gemacht werden kann.

Problematisch gestaltete sich bei allen Systemen der **übersichtliche Aufbau**

von Versuchen. Der Grund hierfür resultiert direkt aus einer zentralen Stärke der verschiedenen Interfaces, nämlich der Möglichkeit, mehrere Messgrößen gleichzeitig aufzunehmen. Durch die relativ kompakte Bauweise bedeutet dies, dass alle verwendeten Anschlusskabel in nahezu einem Punkt konvergieren. Insbesondere bei der Verwendung von Sensoren, die mehr als eine Leitung zum System benötigen (z.B. der Anschluss von Lichtschranken oder des Bewegungsaufnehmers von Phywe, aber auch bei Strom- oder Spannungsmessungen wie bei den in Kapitel 3.3 vorgestellten Versuchen) wird der Aufbau sehr schnell unübersichtlich.

Die Versuchsvorbereitung besteht bei der Nutzung von Computerunterstützten Messwerterfassungssystemen grundsätzlich aus zwei Schritten, nämlich neben dem Versuchsaufbau die Einstellung der nötigen Parameter mit Hilfe der Software. Da diese Konfiguration in vielen Fällen nicht trivial ist, unterstützen die analysierten Systeme in mehr oder weniger großem Ausmaß das **Abspeichern der Versuchseinstellungen**. In XLSmess wird dies durch das automatische Abspeichern der Grundkonfiguration im Startfenster (siehe Kapitel 2.1.4.4) in Verbindung mit der Verwendung zur Auswertung vorbereiteter Excel-Tabellen realisiert. CASSY-S/CASSY Lab erlaubt explizit (Hund u. a., 2007a) das Sichern der Messeinstellungen, hier können Vorbereitung zur Auswertung (Verrechnung von Messgrößen, Konfiguration der (graphischen) Darstellungen) vorgenommen werden. In Coach 6 besteht zusätzlich noch durch die Konzeption als Autorensystem die Möglichkeit, eine (interaktive) Versuchsanleitung zu integrieren. Auch im Programm Measure existiert die Option zum Abspeichern der Versuchsparameter, die sich aber gerade bei der Verwendung des Softwaremoduls PowerGraph als funktionsunfähig erwies. Unabhängig von den Speicherfähigkeiten ist es aber bei allen vier Systemen möglich, nach einem **Abbruch des Experimentes** (der jederzeit möglich ist) auch ohne Neueingabe aller Parameter eine Wiederholung zu starten, so dass gerade in der Entwicklungsphase von Versuchen Einstellungen ohne großen Aufwand an die Gegebenheiten angepasst werden können. Die Möglichkeit, Versuche zu unterbrechen und an der gleichen Stelle fortzusetzen, fehlt allerdings überall.

Eine zentrale Aufgabe von Messwerterfassungssystemen ist neben der Aufnahme und Verarbeitung der Daten die **Darstellung**. Alle getesteten Softwa-

rekomponenten bieten für die Verwendung im Unterricht (auch in Hinblick auf die Durchführung von Demonstrationsexperimenten) ausreichende Möglichkeiten, Messdaten zu präsentieren. Dies betrifft zum einen die Formatierung von Messdaten und Graphen (z.B. Schriftgröße, Liniendicke und Farbe, Hinzufügung von Kommentaren), so dass die Darstellung übersichtlich gestaltet werden kann und die Messdaten gegebenenfalls auch aus größerer Entfernung noch lesbar sind. Zum anderen beinhaltet dies auch Funktionen zur manuellen und automatischen Anpassung der Skalierung von Graphen. Zusätzlich gestatten einige Programme (Microsoft Excel (XLSmess), Measure und CASSY Lab) neben der linearen Skalierung auch die Wahl einer logarithmischen, quadratischen etc. Skala. Die Ausgabe ist jeweils sowohl auf dem Bildschirm als auch mit dem Drucker möglich.

Unverzichtbar im Physikunterricht ist die Darstellung der Messwerte schon während des Versuchs, insbesondere wenn ein Messwerverfassungssystem als Ersatz für z.B. ein Demonstrationsmessgerät dient. Die untersuchten Systeme unterstützen diese Funktion, dabei ist die Darstellung sowohl numerisch als auch graphisch möglich. Einschränkungen sind allerdings bei Cobra3/Measure vorhanden, da hier nur bei Verwendung des Moduls PowerGraph Diagramme mit beliebiger Achsenbelegung in **Echtzeit** dargestellt werden können und in XLSmess, das entweder die aktuellen Messwerte (Großanzeige) oder ein vordefiniertes Diagramm zur Verfügung stellt. Auch kann die Darstellung bei letzterem System nicht während des Versuchs angepasst werden, insbesondere führt die Einstellung von Diagrammeigenschaften während des Versuchs zu einer Fehlermeldung oder zum Teil auch zum Absturz des Programmes. Während Cobra3/Measure zumindest die Änderung der Größe von Anzeigeelementen und graphischer Darstellung (sowie deren Skalierung) erlaubt, ist mit Coachlab II⁺/Coach 6 zusätzlich eine Formatierung der Graphen (Skalierung, Linienbreite und -farbe, Anzeige der Messpunkte, Diagrammtyp) möglich. Einzig CASSY-S/CASSY Lab unterstützt die Verwendung von Analysefunktionen schon während der Versuchsdurchführung. Zur Veränderung der Messparameter muss allerdings in jedem Fall die Messung gestoppt werden.

Die hier vorgestellten Computerunterstützten Messwerverfassungssysteme sind

keine Datenlogger, d.h. zur Messdatenaufnahme wird sowohl die Verbindung zu einem Computer als auch eine Stromversorgung benötigt (Ausnahme: Die MULTIBOX benötigt (im Gegensatz zur MULTIBOX 3) keine zusätzliche Stromversorgung). Durch diese fehlende **Mobilität** ist der Einsatz nahezu auf den Physikraum beschränkt.

4.2 Einzelmessgeräte und (LowCost) Peripherie

Das Computerunterstützte Messwerterfassungssystem VideoCom ist nicht nur ein spezialisiertes System zur Messung von eindimensionalen Intensitätsverteilungen, sondern insbesondere durch die Zweiteilung der zugehörigen Software (VideoCom Bewegungen und VideoCom Intensitäten) auch zur Erfassung eindimensionaler Bewegungen nutzbar (siehe Kapitel 2.2.1). Beide Anwendungen können unter Nutzung einer Webcam nachgebildet werden (siehe Kapitel 2.2.2 und 3.4.3). Zu einer vergleichenden Analyse analog zu Kapitel 4.1 wurden daher neben den (Teil-) Systemen VideoCom/VideoCom Bewegungen und VideoCom/VideoCom Intensitäten die Kombination der Systeme Webcam/Viana und Webcam/Excel herangezogen.

4.2.1 Funktionalität

Ähnlich den modularen Messwerterfassungssystem benötigen die hier vorgestellten System-Kombinationen VideoCom/VideoCom Bewegungen und VideoCom/VideoCom Intensitäten bzw. Webcam/Viana und Webcam/Excel als Betriebssystem Microsoft Windows ab der Version 98. Die Hardwareanforderung der Hard- und Softwarekomponenten von VideoCom beschränken (Hund, 1997) sich auf das Vorhandensein der Schnittstelle (seriell (RS232) bzw. USB). Die Minimalanforderungen der Webcam PCVC840K/20 der Firma Philips sind ein freier USB-Anschluss, ein mit einem Pentium II vergleichbarer Prozessor sowie mindestens 32 MB Arbeitsspeicher (Philips, 2003). Ähnliche Daten benötigt der Computer zur Nutzung von Microsoft Excel (vgl. Kapitel 4.1.2 und Tabelle 4.1). Die Auswertungssoftware Viana stellt zwar keine weiteren minimalen **Systemanforderungen**, ist allerdings für eine Bildschirmauflösung von 1024 x 762 Pixel optimiert (Kersting, 2002). Die bei der Durchführung von Versuchen mit der Webcam (sowohl bei der Bewegungsaufnahme als auch bei der Untersuchung von Interferenzmustern) gemachten Erfahrungen zeigen allerdings, dass sowohl bei der Erfassung von Messdaten mit der Webcam als auch bei der Auswertung ein leistungsfähigerer Rechner von Vorteil ist, so hängt insbesondere die mögliche Framerate bei der Aufnahme von Videos von der Geschwindigkeit von Prozessor und Festplatte

ab.

Die Nutzung von digitalen Kameras ist nur in einigen Teilgebieten der Physik möglich, die Wahl eines CCD-Chips als Sensor beschränkt die **Messmöglichkeiten** auf die Erfassung von Lichtintensitäten und Positionen in Abhängigkeit der Zeit. Dabei kann die VideoCom durch die Verwendung eines einzeiligen Bildsensors nur zu eindimensionalen Messungen verwendet werden, die Notwendigkeit der Reflektorfolie zur Erfassung von Bewegungen (siehe Kapitel 2.2.1.1 und Hund, 1997) macht zudem die Aufnahme von Messungen im Freien nahezu unmöglich. Die Webcam erlaubt dagegen in Verbindung mit der jeweiligen Software (Viana bzw. Microsoft Excel) die Analyse zweidimensionaler Bewegungen (auch außerhalb des Labors) und Intensitätsverteilungen.

Eine im Vergleich zur Webcam um ca. den Faktor 8 höhere **Messgenauigkeit**, zumindest bei der berührungslosen Bewegungsmessung, erhält man wiederum mit VideoCom (siehe Kapitel 2.2.1.1 und 2.2.2.1). Ähnliches gilt für die maximale **Messfrequenz**. Während VideoCom bis zu 160 mal pro Sekunde Positionsdaten zu ermitteln in der Lage ist, liegt die höchste Anzahl an Bildern pro Sekunde (und damit die maximale **Messfrequenz**) bei der Aufnahme von Filmen mit der Philips ToUcam bei 60. Obwohl beide Hardwarekomponenten bis zu 256 Helligkeitsstufen unterscheiden können liegt hier der Vorteil beim System VideoCom/VideoCom Intensitäten, da es nicht möglich ist, mit Hilfe der im LowCost-System verwendeten Software Nutzen daraus zu ziehen. Allerdings zeigt sich, dass zur Untersuchung von Interferenz- bzw. Beugungsmustern auch diese Auflösung in vielen Fällen nicht ausreichend ist, da der Helligkeitsunterschied zwischen Haupt- und Nebenmaxima insbesondere bei der Messung an Spalten zu groß ist (siehe Kapitel 2.2.1 und Hund, 2007b).

Bei der Untersuchung von Interferenzmustern müssen Position und Helligkeit gleichzeitig bestimmt werden, was sowohl VideoCom/VideoCom Intensitäten als auch Webcam/Excel leisten. Für die Messung von Bewegungen kann allerdings die Erfassung mehrerer Objekte parallel notwendig werden. In der aktuellen Version ist das System Webcam/Viana nicht dazu in der Lage, VideoCom/VideoCom Bewegungen erlaubt allerdings die Positionsbestimmung von bis zu 8 Körpern zur gleichen Zeit. Die **maximale Anzahl** von erfassbaren Messwerten wird bei der

Untersuchung von Intensitäten mit VideoCom durch die Breite des CCD-Chips (2048 Pixel, siehe Kapitel 2.2.1.1) begrenzt. Die Chip-Breite der Philips ToUcam beträgt zwar nur ca. ein Drittel dieses Wertes, durch das Aneinanderfügen von Teilaufnahmen kann diese aber „virtuell“ nahezu unbegrenzt erhöht werden (siehe Kapitel 3.4.3.3 und Abbildung 3.40). Die Dauer einer Bewegungsmessung mit VideoCom/VideoCom Bewegungen und Webcam/Viana ist prinzipiell unbegrenzt, d.h. sie hängt nur vom zur Verfügung stehenden Speicherplatz des Computers ab.

Der Ablauf (**Beginn und Ende**) einer Messung kann dabei nur eingeschränkt automatisiert werden. Bei der Aufnahme von Filmen zur Videoanalyse ist nur die maximale Filmlänge einstellbar, für die VideoCom kann neben der Zeit auch die zurückgelegte Strecke eines Objektes als Stopp-Parameter definiert werden, im Modus „Intensitätsmessung“ sind jeweils nur Momentaufnahmen möglich.

Alle hier analysierten Computerunterstützten Messwerterfassungssysteme erlauben neben der Aufnahme von Messwerten auch die Darstellung, mit Ausnahme von Viana enthalten die Softwarekomponenten auch Funktionen zur Auswertung der Messung. Die Produkte von LD Didactic bedienen sich dabei eines mit dem von CASSY Lab (siehe Kapitel 2.1.1.5) vergleichbaren, allerdings auf die notwendigen Bereiche reduzierten Instrumentariums (vgl. Kapitel 2.2.1.5 und Hund, 1997), das sowohl die Anpassung von einfachen Funktionen (z.B. Geraden) als auch die Umrechnung von Messgrößen oder die Berechnung einer Fast-Fourier-Transformation (nur VideoCom Bewegungen, hier werden zudem die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der erfassten Objekte automatisch ermittelt) ermöglicht. Allerdings fehlt in der Software VideoCom Intensitäten das eigentlich zur Bestimmung der gesuchten Größen (z.B. Wellenlänge des interferierenden Lichtes oder die Daten zur Geometrie des Beugungsobjektes) benötigte Werkzeug. Zwar existiert die Möglichkeit, die sich aus der Theorie ergebende Intensitätsverteilung eines Interferenzmusters mit der gemessenen zu vergleichen, die Parameter müssen aber manuell angepasst werden und der Grad der Übereinstimmung kann nur optisch abgeschätzt werden. Das Programm Viana gestattet lediglich die Extraktion der Ort-Zeit-Koordinaten aus den Videodaten (siehe Kapitel 2.2.2.5) und die Berechnung von Momentangeschwindigkeiten und -beschleunigungen aus diesen Werten. Für weitere Auswertungsfunktionen ist ein Export in ein externes

Programm notwendig, z.B. Microsoft Excel, das weitere Analysefunktionen bietet (vgl. Kapitel 4.1.1).

Ausschließlich Excel bietet sowohl **Import- als auch Exportmöglichkeiten**, die VideoCom-Softwarekomponenten erlauben nur den Export über die Windows-Zwischenablage. Unter Viana können die Daten direkt mit der Tabellenkalkulationssoftware geöffnet oder im Text- bzw. CSV-Format abgespeichert werden.

Die **Regelung und Steuerung** von Versuchskomponenten beschränkt sich auf die Nutzung eines Haltemagneten bei der Bewegungsaufnahme mit VideoCom, wobei diese Funktionalität (ebenso wie die Triggerung der Messdatenaufnahme) zur Messung von Intensitätsverteilungen aber nicht benötigt wird.

4.2.2 Benutzerfreundlichkeit

Die **Installation** der Hard- und Software von VideoCom erfolgt über einen Installationsassistenten, der automatisch sowohl das Kopieren der Dateien als auch die notwendigen Konfigurationen des Systems (Erstellung der Menüeinträge und Registrierung der Dateitypen) erledigt. Gleiches gilt für Microsoft Excel, sofern dieses noch nicht auf dem Computer vorhanden ist. Die Videoanalyse-Software Viana muss lediglich in ein beliebiges Verzeichnis kopiert werden, weitere Einstellungen im Betriebssystem sind nicht notwendig. Die Hardware-Treiber der Webcam (Philips PCVC840K/20) sind separat zu installieren. Die hierzu verwendete Installationsroutine bietet auch die Einrichtung des Dienstprogrammes VRecord (siehe Kapitel 2.2.2.2) an, das die Aufnahme von Filmen ermöglicht. Fotos können von jedem mit einer TWAIN-Schnittstelle² ausgestatteten Programm (z.B. XnView, Adobe Photoshop, Gimp) ausgelesen werden. Eine eigene **Deinstallations**routine steht nur für das System VideoCom zur Verfügung. Eine Installation oder Deinstallation ist hier allerdings immer nur komplett möglich.

Betrachtet man die (LowCost-) Kombination der Systeme Webcam/Viana und Webcam/Excel, so fällt auf, dass (inklusive der Software zur Erfassung der Bilddaten) von der Aufnahme bis zur Auswertung der Messdaten bis zu drei verschiedenen Programmen involviert sind, die (auch bedingt durch ihre Spezialisie-

²TWAIN ist ein Standard zum Austausch von Daten zwischen Bildeingabegeräten (Scanner, Digitalkameras, ...) und Programmen für Microsoft Windows und MacOS.

rung auf bestimmte Funktionen) verschiedene Bedienkonzepte verfolgen: Microsoft Excel zeichnet sich, wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben, durch eine für Windows-Applikationen (**quasi-**) **standardisierte Benutzeroberfläche** aus, ähnliches gilt z.B. auch für das Bildbearbeitungsprogramm Xnview (Gougelet, 2008), das die komfortable Übertragung von Bildern zwischen Kamera und Computer ermöglicht. Die Steuerung der Videocapture-Software VRecord dagegen erfolgt allein über die Einträge der verschiedenen Menüs (siehe Kapitel 2.2.2.2), während die Auswertung der Filme in Viana größtenteils assistentengesteuert mit Hilfe der Nutzung von Schaltflächen vonstatten geht (siehe Kapitel 2.2.2.2 und Kersting, 2002). Auch wenn die Arbeitsweise für jede dieser Komponenten über die Programmstruktur hinweg durchaus konsistent ist, so ist für die Kombination insgesamt kein **durchgehendes Bedienkonzept** erkennbar. Anders beim kommerziellen System VideoCom: beide Programmteile zeigen eine ausgesprochene Ähnlichkeit zur Software CASSY Lab des gleichen Herstellers (siehe Kapitel 4.1.2).

Im Gegensatz zu den modularen Systemen beinhalten die in diesem Abschnitt analysierten Systeme jeweils nur ein Sensor, nämlich die jeweilige Kamera, die problemlos über die jeweilige Schnittstelle (seriell oder USB) angeschlossen wird. Allerdings birgt der Aufbau insbesondere der VideoCom gerade für den unerfahrenen Benutzer große Schwierigkeiten. Ursache ist die Verwendung eines einzeiligen CCD-Chips, der eine äußerst präzise Ausrichtung gerade der Untersuchung von Interferenzmustern nötig macht. Die Konstruktionsweise des Gerätes (der Sensor ist nur direkt von vorne zu erkennen) erschwert dabei, die Position und die Lage des Interferenzmusters zu überprüfen. Der zweidimensionale Chip der Webcam befreit den Benutzer von dieser Notwendigkeit, Verschiebungen und Drehungen können entweder mit Hilfe eines beliebigen Bildbearbeitungsprogramms oder rechnerisch korrigiert werden.

Ähnlich wie bei CASSY-S/CASSY Lab liegen VideoCom/VideoCom Bewegungen und VideoCom/VideoCom Intensitäten eine Reihe von Beispielversuchen inklusive der Messergebnisse bei, die bei dem Einstieg in die Nutzung der Systeme helfen können. Die Dokumentation dieser Experimente ist allerdings vergleichsweise spärlich gehalten. Der LowCost-Kombination Webcam/Viana und Webcam/Excel fehlt diese Möglichkeit, lediglich Beispielfilme zur Analyse mit

Viana werden auf der Seite des Entwicklers (<http://didaktik.physik.uni-essen.de/viana/>) zur Verfügung gestellt.

Vergleichbar ist die Situation im Bereich **Hilfe und Dokumentation**. Während zu dem System VideoCom zumindest eine durchaus ausreichende, die Funktionen der Software beschreibende, Online-Hilfe (Hund, 2007b) gehört, ist im Lieferumfang von Viana lediglich ein Handbuch im HTML-Format enthalten, das sich auf eine ältere Version des Programms bezieht. Im Falle des neuentwickelten LowCost-Systems Webcam/Excel zur Untersuchung von Interferenzmustern ist der Benutzer auf die Ausführungen in dieser Arbeit (Kapitel 3.4.3) angewiesen. Eine Dokumentation der Philips PCVC840K/20 ist auf der vom Hersteller mitgelieferten Treiber-CD zu finden (Philips, 2003), die leider nur teilweise ins Deutsche übertragen wurde.

Die Software präsentierte sich während des Tests weitgehend **fehlerfrei**. Einzig beim Programm Viana traten vereinzelt Probleme bei der Darstellung und der Auswertung von Filmen auf. Werden Videos mit großen Abmessungen (640x480 Bildpunkte) analysiert, so überlagert das Bildanalysefenster sowohl das Videoanalysefenster als auch die Sucheinstellungen. Dabei werden im Bereich der Überlagerung keine Messdaten erfasst. Probleme mit der Hardware zeigten sich ebenfalls nur bei der Nutzung der LowCost-Systeme. Neben einigen (nicht reproduzierbaren) Verbindungsabbrüchen zwischen Kamera und Computer erwies sich die Installationsprozedur selbst als mögliche Fehlerquelle. So verhinderte das Vorhandensein der Treibersoftware einer älteren Version der Philips ToUcam eine erfolgreiche Einrichtung der Webcam. Dieser Umstand zeigte sich um so mehr als problematisch, da eine vollständige Deinstallation der Gerätetreiber nicht bzw. nur durch tiefere Eingriffe in Betriebssystem möglich war.

Bedenklich ist, dass insgesamt kaum Funktionen zur Gewährleistung der Datensicherheit vorhanden sind. Weder die Software-Komponenten des Systems VideoCom noch Viana bieten die Möglichkeit zur automatischen Sicherung der Messergebnisse, in letzterem Programm wird auch nicht vor einem möglichen Verlust der Daten beim Schließen oder dem Überschreiben der Messung gewarnt. Gleiches gilt auch für die Aufnahme von Filmen mit VRecord. Einzig Microsoft Excel sticht in dieser Hinsicht positiv hervor (siehe Kapitel 4.1.2).

Auf eine Verbesserung der Missstände ist im Falle der Videoanalysesoftware Viana kaum zu hoffen, das letzte **Update** des Programmes datiert aus dem Jahr 2004. Die VideoCom-Software und die Gerätetreiber der Webcam wurden zumindest in den letzten Jahren wiederholt angepasst, während die Tabellenkalkulationssoftware Excel einer stetigen Weiterentwicklung durch den Hersteller Microsoft unterliegt.

4.2.3 Unterrichtspraktische Aspekte

Die Untersuchung Hardwarekomponenten der in diesem Abschnitt behandelten Systeme zeigte keinerlei **Sicherheitsbedenken** beim sachgerechten Umgang mit dem Material auf. Als Schwachpunkte der Kameras in Hinblick auf die **Robustheit** erwies sich allerdings zum einen der Fuß der Philips ToUcam, der nach kurzer Nutzungsdauer brach. Zum anderen besteht bei Verwendung der VideoCom leicht die Gefahr, den exponiert auf dem abnehmbaren Objektiv angebrachten LED-Blitz zu beschädigen.

Da die Hardware dieser Messsysteme nur aus einer Komponente besteht, ist ein **übersichtlicher Versuchsaufbau** prinzipiell kein Problem, einzig die Länge der Datenkabel (und im Fall der VideoCom, Stromkabel) kann zu Schwierigkeiten führen. Durch das beschränkte Einsatzgebiet der monolithischen Messwerterfassungssysteme und die damit verbundene Reduzierung der notwendigen (softwareseitigen zu vergebenden) Versuchsparameter kommt einer Möglichkeit zum **Abspeichern der Versuchseinstellung** weit weniger Bedeutung als im Falle modularer Systeme zu. Vollständig ist diese Funktion auch nur in VideoCom/VideoCom Bewegungen und VideoCom/VideoCom Intensitäten, hier werden neben den Messdaten die für die Kamera benötigten Parameter als auch die Einstellungen zu Aufnahme, Darstellung und Auswertung der Daten gesichert. Die Treibersoftware der Webcam stellt nur die jeweils zuletzt verwendete Konfiguration zur Verfügung. Zur Darstellung und Auswertung der Messergebnisse unter Excel, sowohl bei der Untersuchung von Interferenzmustern als auch der Verarbeitung von mittels Viana gewonnenen Daten, können jeweils vorbereitete Tabellen genutzt werden. Viana selbst stellt keine Möglichkeit, versuchsspezifische Daten abzuspeichern, zur Verfügung.

Ein Abbruch der Messdatenaufnahme ist bei allen Systemen jederzeit möglich, dass gilt z.B. bei der Videoanalyse mit Webcam/Viana sowohl für das Erstellen eines Filmes als auch dessen Analyse. Ebenso kann ein Neustart der Messwertfassung ohne Neueingabe aller Parameter durchgeführt werden.

Die Möglichkeiten, die **Darstellung der Ergebnisse** anzupassen, sind bei den analysierten Softwarekomponenten unterschiedlich implementiert. Während in Microsoft Excel durch die Konzipierung als Tabellenkalkulationssoftware Diagramme auf vielfältige Weise an die Bedürfnisse angepasst werden können (z.B. Größe insgesamt, Wahl der gezeigten Ausschnitte, Liniendicke und -farbe, Schriftgröße, Nutzung einer logarithmischen Skalierung, Anzeige der Werte), erlaubt Viana lediglich das Ein- bzw. Ausblenden der Trendlinie zum Verbinden der Messwerte und das Zoomen im Graphen. VideoCom Bewegungen bzw. Intensitäten unterstützen einige der auch von CASSY Lab bereitgestellten Funktionen, allerdings fehlt in VideoCom Intensitäten z.B. die Option zur Anzeige der Datenpunkte, auch ist in keinem der beiden Programmteile eine andere als die lineare Skalierungsart wählbar.

Echtzeitfunktionen im eigentlichen Sinne, das heißt sowohl die Möglichkeit, Messdaten in Echtzeit beliebig darstellen als auch diese auswerten zu können, finden sich nur beim System VideoCom. Die Messparameter selbst sind aber auch hier nicht während der Messung einstellbar.

Für die Durchführung von Experimenten mit den hier verwendeten Systemen wird zwingend ein Computer benötigt, zudem ist für den Betrieb der VideoCom eine zusätzliche Spannungsquelle notwendig. Daher kann nur bei Nutzung der Philips ToUcam in Verbindung mit einem Notebook eine eingeschränkte **Mobilität** erreicht werden.

Kapitel 5

Computerunterstütztes

Experimentieren –

Physiklehrerbildung an der

Universität Siegen

5.1 Ziele und Probleme der Physiklehrerbildung

Die sinnvolle Nutzung der „Neuen Medien“ – und insbesondere der Nutzung Computerunterstützter Messwerterfassungssysteme – im Physikunterricht verlangt vor allem eine ausreichende Ausbildung der Lehrer in allen drei Phasen der Lehrerbildung (Studium, Vorbereitungsdienst und Fortbildung) (siehe auch: Pohlmann, 2002; Kell, 2002). Verankert ist diese Forderung auch in der Ordnung der Ersten Staatsprüfungen für Lehrämter an Schulen (LPO, 2003), in der als einer von fünf Schwerpunkten für das fachdidaktische Studium die „Nutzung Neuer Medien und Multimedia für Lehr-/Lernprozesse“ genannt wird.

Die besondere Problematik des Studiums der „Neuen Medien“ liegt allerdings darin, dass nicht nur Kompetenzen zum fachdidaktisch fundierten Computereinsatz im Physikunterricht erworben werden müssen. Die Soft- und Hardware zur Messdatenerfassung (aber auch Modellbildung, Simulation etc.) stellen zum Teil hochkomplexe Werkzeuge dar, deren Bedienung ebenso erlernt werden muss. In dieser Hinsicht ergeben sich insbesondere aus der fehlenden Standardisierung

(oder positiv ausgedrückt: der großen Vielfalt) der „Neuen Medien“ Schwierigkeiten: Es reicht nicht aus, zukünftige Lehrer nur an einem Produkt zu trainieren. Vielmehr müssen Fähigkeiten vermittelt werden, die es ihnen erlauben, neben den fachdidaktischen Möglichkeiten auch funktionale Konzepte von Soft- und Hardware erkennen und damit neben der eigentlichen Nutzung auch vergleichende Bewertungen ähnlicher Computeranwendungen auf Basis der unterrichtlichen Bedingungen vornehmen zu können (siehe auch: Universität Siegen, 2005).

Die Ausbildung der Lehrer in dieser Hinsicht gestaltet sich insofern als problematisch, als dass vielfältige Ressourcen benötigt werden. Die Anschaffung von Computerprogrammen und vor allem auch Computerunterstützten Messwerterfassungssystemen stellt vor allem für Schulen eine große finanzielle Belastung dar, die mit den Mitteln eines regulären Budgets kaum zu bewältigen ist. Die Vielfalt von Neuen Physikmedien, die nötig ist, um einen zur fundierten unterrichtlichen Anwendung erforderlichen Ausbildungsstand zu erreichen, kann daher von Schulen allein kaum geboten werden. Auch der Zeitfaktor ist eine nicht zu vernachlässigende Größe, so dass die Vermittlung von Basiskompetenzen in den Phasen 2 und 3 der Lehrerbildung (Vorbereitungsdienst und Lehrerfortbildung) nur sehr schwer möglich ist.

Der Fachbereich Physik – Didaktik der Physik – der Universität Siegen bieten daher schon seit einigen Jahren in Veranstaltungen für die Lehramtsstudierenden aller Schulstufen die Möglichkeit, grundlegende fachliche und fachdidaktische Kompetenzen für die Nutzung der Neuen Physikmedien im Physikunterricht zu erwerben. Nicht zuletzt aufgrund des nahezu sprunghaften Anstiegs der Anzahl und der Verwendungsmöglichkeiten Computerunterstützter Messwerterfassungssysteme über die letzte Dekade hinweg wurde - auch durch den Aufbau und die Erweiterung des Medienlabors (siehe Kapitel 5.2) - dieser Bereich der „Neuen Medien“ ein zentraler Bestandteil der Physiklehrerausbildung an der Universität Siegen.

5.2 Computerunterstütztes Experimentieren

Ein besonderer Schwerpunkt der Physiklehrerausbildung an der Universität Siegen wurde mit den Lernwerkstätten der Didaktik der Physik gebildet (vgl. Boddemann und Winnenburg, 2006). Neben dem Umweltlabor, der Lernwerkstatt Naturwissenschaften und der Sternwarte gehört dazu auch das Medienlabor. Das Medienlabor wurde im Rahmen dieser Arbeit dazu eingerichtet, um Studierenden (aber auch Schülern und Lehrern) die Möglichkeit zu geben, insbesondere Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme für den Physikunterricht aber auch allgemein Soft- und Hardware für den naturwissenschaftlichen Unterricht aller Schulstufen kennen zu lernen und zu testen. Dabei ist das Medienlabor als offene Lernwerkstatt konzipiert. Das bedeutet, dass zum einen die Benutzung auch neben den Lehrveranstaltungen möglich ist, zum anderen aber auch Raum für die Kooperation von Schule und Hochschule geboten wird. So haben z.B. Lehrer die Möglichkeit, mit ihren Schulklassen Erfahrungen mit den „Neuen Medien“ zu sammeln und gegebenenfalls Anwendungen unter unterrichtsrealistischen Bedingungen zu erproben. Das Medienlabor erlaubt (auch in Verbindung mit den anderen Lernwerkstätten) die Verwirklichung einer berufsfeldorientierten Lehrerbildung, in der Fachwissenschaft, Fachdidaktik und Schulpraxis integrale Bestandteile sind. Ziel dabei ist es, den Studierenden Raum zu geben, um handlungsorientiertes entdeckendes Lernen selbst zu erfahren.

Gerade für die Aneignung von Kompetenzen im Umgang mit Computerunterstützten Messwerterfassungssystemen erweist sich die traditionelle Ausbildungskonzeption mit Vorlesung und Seminaren als nicht ausreichend. Das Verständnis der Konzepte dieser Systeme, sowohl in Hinblick auf die Bedienung als auch auf die fachdidaktisch fundierten Nutzung im Physikunterricht, kann durch bloße theoretische Vermittlung oder Vorführung nur sehr schwer erlangt werden. Konfuzius erkannte bereits:

„Sage es mir, und ich vergesse es; zeige es mir, und ich erinnere mich; lass es mich tun, und ich behalte es.“

Konfuzius (551 - 479 v. Chr.)

Nach dem aktuellen Stand der Lernpsychologie muss die Kluft zwischen Theorie

und Praxis durch „learning by doing“ aufgehoben werden.

Konzipiert und in den regulären Lehrbetrieb (einschließlich Studienordnung, siehe Universität Siegen, 2007) integriert wurde daher eine Lehrveranstaltung, die sich unter Ausnutzung der Möglichkeiten der praxis- und berufsorientierten Lehrerausbildung insbesondere in den Lernwerkstätten (hier speziell im Medienlabor) an den Erfahrungen mit der Durchführung der Physikalischen Didaktika (Bodemann und Winnenburg, 2008) und den schulorientierten Experimentalpraktika (Bernshausen u. a., 2002) orientiert.

„Computerunterstütztes Experimentieren“ ist eine Kombination aus Seminar, Tutorium und Praktikum und unterteilt sich in zwei Phasen: In Phase 1 testen, analysieren und vergleichen die Studierenden selbständig Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme. Dabei können die Experimente schulstufenspezifisch frei aus den verschiedenen Teilgebieten der Physik gewählt werden. Die vorhandenen Messwerterfassungssysteme werden dabei im Rotationsprinzip genutzt. Die Lernenden erhalten so die Möglichkeit, nach dem Prinzip des entdeckenden und handlungsorientierten Lernens nicht nur systemspezifische Fähigkeiten sondern auch allgemeine Kompetenzen für die Nutzung, aber auch Analyse und Vergleich von Computerunterstützten Messwerterfassungssystemen zu erwerben. Diese Phase des Kurses findet in der Form des Tutoriums statt, d.h. weitestgehend selbständig und eigenverantwortlich in Kleingruppen. Die Betreuung erfolgt dabei zum einen durch Tutoren (der Dozent oder erfahrene Studenten), die z.B. bei Problemen der Handhabung helfend eingreifen können, zum anderen aber durch den für diesen Zweck entwickelten Analysebogen. Dieser, auf Basis der Analyse der in dieser Arbeit vorgestellten Computerunterstützten Messwerterfassungssystem entwickelte, Fragebogen (siehe Kapitel 5.3 und Anhang A) ermöglicht auch unerfahrenen Lernenden die zielgerichtete und zeitsparende Untersuchung und die vergleichende Analyse/Bewertung der zum Teil sehr verschiedenen Systeme. Die Konzeption der flexiblen Gewichtung einzelner Kriterien (siehe Kapitel 1.2.2 und 5.3.2) erlaubt dabei sowohl Analyse und den Vergleich von einzelnen Systemen als auch Systemfamilien oder -kombinationen (vgl. Kapitel 1.1.1), gegebenenfalls sogar unter Berücksichtigung der Anforderungen spezieller Versuche. Weiterhin erleichtert der Analysebogen, wie Erprobungen des Veranstaltungskon-

zeptes im realen Lehrgeschehen zeigen, auch die Auswertung und Diskussion der aus der Analyse gewonnen Erkenntnisse im Plenum, letztendlich damit auch die Ausarbeitung von systemspezifischen und allgemeinen Stärken und Schwächen, Möglichkeiten und Grenzen der computerunterstützten Messwerterfassung.

Die zweiten Phase der Veranstaltung beinhaltet die auf den Ergebnissen der Analyse basierende Erprobung der Computerunterstützten Messwerterfassungssysteme. Dies umfasst die konkrete Entwicklung schulrelevanter, computerunterstützter Demonstrations- und Schülerexperimente aber auch deren Durchführung in Unterrichtssimulationen. Die Erprobung umfasst mehrere mögliche Schritte:

1. Auswahl eines schulphysikalisch relevanten Gegenstands.
2. Skizzierung einer experimentenzentrierten Unterrichtsreihe für das vorgegebene Schulstufenniveau.
3. Entwicklung eines oder mehrerer Demonstrations- oder Schülerexperimente und Auswahl der zur Durchführung geeigneten Computerunterstützten Messwerterfassungssysteme.
4. Durchführung der Experimente in einer Unterrichtssimulation.
5. Kritisch-reflektorische Untersuchung der Computerunterstützten Experimente insbesondere in Hinblick auf die an sie gestellten Erwartungen (vgl. Kapitel 0).
6. Gegebenenfalls Erprobung der Experimente in Zusammenarbeit mit Schulen der Umgebung.

Diese Erprobungsphase kann durchaus im Kontext eines anderen Kurses stattfinden, dabei bieten sich naturgemäß das Physikalische Didaktikum oder auch die Schulpraktischen Studien an. Denkbar ist auch eine auf mehrere Semester verteilte Variante dieser Veranstaltung, ebenso wie eine abgespeckte Version speziell für Lehrer- oder auch Schülerfortbildungen.

5.3 Der Analysebogen

5.3.1 Aufbau

Der Analysebogen (siehe Anhang A) besteht aus drei Teilen:

- **Steckbrief** (Seite 1).

In diesem Abschnitt erfolgt die genaue Beschreibung des Computerunterstützten Messwerterfassungssystems. Neben der Auflistung der Hard- und Softwarekomponenten sind hier die Systemklasse (siehe Kapitel 1.1.2), die vom Computer zu erfüllenden Systemvoraussetzungen sowie Angaben zur Sensorausstattung und den Anwendungsmöglichkeiten, die das System bietet, anzugeben.

Insgesamt bietet der Steckbrief einen Kurzüberblick über die Daten, die einerseits charakteristisch für das zu untersuchende System ist, aber andererseits ohne tiefere Analyse zusammengetragen werden können.

- **Analyse und Bewertung** (Seite 2-4).

Die eigentliche Analyse erfolgt durch die Bewertung in den Kategorien *Funktionalität*, *Benutzerfreundlichkeit* und *Unterrichtspraktische Aspekte* (siehe auch Kapitel 5.3.2).

- **Zusammenfassung** (Seite 5).

Der letzte Teil des Analysebogens ist so gestaltet, dass zum einen das Ergebnis der Bewertung (Teil- und Gesamtpunktzahlen) dargestellt, zum anderen aber auch Stärken und Schwächen mit eigenen Worten wiedergegeben werden können.

5.3.2 Hinweise zur Benutzung des Fragebogens

Die Grundlage des Analysebogens bildet ein Fragebogenkonzept mit flexibler Gewichtung. Dabei wird jedem Kriterium ein Kontrast gegenübergestellt und auf einer Skala von -2 bis +2 bewertet (+2: Kriterium trifft zu; -2: Kontrast trifft zu); Kriterium und Kontrast bilden dabei den Bewertungsrahmen. Jedes Item erhält außerdem eine individuelle (und subjektive) Gewichtung von 0 (irrelevant)

bis 3 (sehr wichtig). Zusätzlich besteht die Möglichkeit, in beschränktem Maß Sonderpunkte für selbst formulierte Kriterien zu vergeben.

Die Ergebnisse der Analyse werden auf einer Skala sowohl einzeln als auch als Gesamtpunktzahl zusammengefasst. Zusammen mit dem Deckblatt des Fragebogens (Steckbrief) erhält man so einen komprimierten aber umfassenden Überblick sowohl über die Eigenschaften des Messwerterfassungssystems als auch über seine Stärken und Schwächen.

Der Steckbrief soll Basisinformationen zum untersuchten System bieten (Name und Hersteller von Hard- und Software, Systemtyp, Systemanforderungen, Sensorausstattung und Arbeitsmöglichkeiten). Diese Informationen sollten sich aus den Angaben des Herstellers (Handbuch, Verpackung, Lieferschein) ergeben.

Bei der Analyse selbst empfiehlt es sich, zuerst den Gewichtungsfaktor für die einzelnen Kriterien zu bestimmen. Um einen Vergleich ähnlicher Messwerterfassungssysteme zu ermöglichen (z.B. CASSY-S/CASSY Lab und Cobra3/Measure oder VideoCom und Webcam/Viana) sollte zusätzlich darauf geachtet werden, dass die Faktoren in den betreffenden Fragebögen vergleichbar gewählt wurden.

Die Punktzahl für jede Position ergibt sich aus dem Produkt von Faktor und Bewertung. Zusätzlich besteht für jede Ebene die Möglichkeit, Stärken oder Schwächen mittels Sonderpunkten für selbst formulierte Kriterien (-6 bis +6 Punkte) zu betonen.

Die Gesamtpunktzahl berechnet sich aus der Summe aller Punkte (inkl. Sonderpunkte) und kann auf dem Blatt Zusammenfassung in die entsprechende Skala übertragen werden. Da die Maximal- bzw. Minimalpunktzahl direkt von den vergebenen Gewichtungsfaktoren abhängt, muss diese vorher in die Skala eingetragen werden. Die Spanne der Skala ergibt sich damit aus:

$$+[(\text{Faktorensomme} \cdot 2) + 6] > 0 > -[(\text{Faktorensomme} \cdot 2) + 6].$$

Schwächen und Stärken des Messwerterfassungssystems können auf diesem Blatt auch ausformuliert vermerkt werden, zusammen mit der Möglichkeit eines abschließenden Kommentars.

5.3.3 Kriterien und Erläuterungen

Auf Basis der in Kapitel 4 durchgeführten Analyse ergab sich ein in die drei Schwerpunkte Funktionalität, Benutzerfreundlichkeit und Unterrichtspraktische Aspekte unterteilter Kriterienkatalog. Die Kriterien selbst lassen sich innerhalb dieser Kategorien noch einmal thematisch in Gruppen zusammenfassen.

5.3.3.1 Funktionalität

Systemanforderungen

Das Messwerverfassungssystem ist auf vielen verschiedenen Betriebssystemen und Prozessorplattformen einsetzbar (z.B. Windows, Linux, MacOS; aber auch verschiedene Versionen).	versus	Die Zahl der nutzbaren Betriebssysteme und Prozessorplattformen ist sehr begrenzt.
Die Systemanforderungen der Software sind bescheiden.	versus	Die Software stellt hohe Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Computers.

Die Grundvoraussetzung für die Nutzung von Computerunterstützten Messwerverfassungssystemen ist zunächst einmal die Erfüllung der Systemanforderungen. Dabei ist es von Vorteil, wenn zum einen mehrere verschiedene Betriebssysteme unterstützt werden, zum anderen aber auch mit älteren Rechnern Messungen durchgeführt werden können.

Messmöglichkeiten

Das System ermöglicht die Erfassung vieler verschiedener Messgrößen aus allen Teilgebieten der Physik.	versus	Es ist nur eine physikalische Größe erfassbar.
Maximaler Messbereich, Messfrequenz und Auflösung genügen den Anforderungen unterrichtsrelevanter Versuche.	versus	Das Messwerverfassungssystem ist aufgrund zu kleinem maximalem Messbereich, zu niedriger Messfrequenz und/oder fehlendem Auflösungsvermögen nur für wenige Experimente einsetzbar.
Es können beliebig viele Messwerte aufgenommen und gespeichert werden.	versus	Die maximale Zahl der Messwerte ist begrenzt.
Es sind beliebig viele Messgrößen gleichzeitig erfassbar.	versus	Es kann nur immer eine Messgröße gleichzeitig aufgenommen werden.

In diesem Abschnitt ist zu bewerten, inwieweit das Messwerverfassungssystem den Anforderungen von Experimenten für den Physikunterricht genügt. Dabei gilt: Die Möglichkeit, viele Messgrößen aus verschiedenen Teilgebieten der Physik zu erfassen, macht ein System universell einsetzbar.

Im Blickpunkt sollten dabei nicht nur Messbereich, Messfrequenz und Auflösung liegen, sondern auch, wie viele Messwerte insbesondere auch bei hochfre-

quenten Messungen speicherbar sind und wie viele Messungen parallel durchführbar sind. Faktoren, die hier mit einspielen, sind neben der Menge an messbaren Kanälen auch die Datenübertragungsrate zwischen Interface und Computer, sowie das Vorhandensein und die Größe eines in der Messhardware integrierten Zwischenspeichers.

Vollständigkeit

Das Messwerverfassungssystem erlaubt die Steuerung bzw. Regelung einzelner Komponenten des Versuchsaufbaus (z.B. Haltemagnete, Schrittmotoren oder Spannungsversorgung).	versus	Eine Steuerung oder Regelung einzelner Versuchskomponenten ist nicht möglich.
Das Messwerverfassungssystem beinhaltet alle zur Aufnahme der Messwerte relevanten Messinstrumente und Zubehörteile wie z.B. Adapterkabel.	versus	Zur Aufnahme der Messwerte werden neben dem Messwerverfassungssystem weitere Messinstrumente, Adapterkabel oder ähnliches Zubehör benötigt.
Die Software erlaubt sowohl das Messen als auch die Darstellung und Analyse der Ergebnisse.	versus	Das System erfordert zusätzliche Software zur Messung, Darstellung oder Analyse.

Die Durchführung und Auswertung von Experimenten erfordert in vielen Fällen komplexe Strukturen, sowohl was den eigentlichen Versuchsaufbau als auch was die Hilfsmittel bei der Verarbeitung der Messdaten betrifft. Ein Computerunterstütztes Messwerverfassungssystem ist vollständig, wenn es Unterstützung in allen Phasen (von der Durchführung bis zur Auswertung) des Experimentes bietet. Dafür muss das System alle notwendigen Hard- und Softwarekomponenten beinhalten.

Beginn und Ende der Messung

Die Dauer der Messung ist einstellbar.	versus	Die Dauer der Messung ist nicht veränderbar bzw. das Experiment muss manuell beendet werden.
Der Startzeitpunkt des Experimentes kann über verschiedene Bedingungen (z.B. explizite Zeitangabe oder Einstellung eines Triggerwertes) festgelegt werden.	versus	Es kann kein Startzeitpunkt festgelegt werden.

Für viele Versuche genügt es nicht, eine Messung „per Knopfdruck“ zu starten oder zu stoppen. Zu analysieren ist deshalb, auf welche Weise der Zeitpunkt für Beginn und Ende der Messdatenaufnahme gewählt werden kann.

Portabilität der Messdaten

Die Software bietet umfangreiche Exportmöglichkeiten, d.h. die Messergebnisse können in verschiedenen Datenformaten abgespeichert werden.	versus	Die Software bietet keine Exportmöglichkeiten.
Die Software bietet umfangreiche Importmöglichkeiten, d.h. Daten unterschiedlicher Formate (auch anderer Messwerterfassungssysteme) können verarbeitet werden.	versus	Die Software bietet keine Importmöglichkeiten.

Der Export und Import von Messdaten ist insbesondere für heterogene Messumgebungen wichtig, z.B. wenn aufgrund besonderer Unterrichtsgegebenheiten spezielle Auswertungsprogramme bevorzugt oder aber die Daten verschiedener Systeme zusammengeführt werden sollen. Aber auch zu Zwecken der Datenverteilung und der Dokumentation der Ergebnisse können vielfältige Exportfunktionen hilfreich sein. Zu untersuchen ist dabei, ob zum einen das Speichern der Messdaten in unterschiedlichen Dateiformaten (unter besonderer Berücksichtigung von Standardformaten wie z.B. CSV), zum anderen aber auch der direkte Datentransfer über die Zwischenablage möglich ist.

Analysefunktionen

Gemessene Größen können zu einer neuen Größe verrechnet werden.	versus	Die Verrechnung von Messgrößen ist nicht möglich.
Das System erlaubt die Auswertung der Messergebnisse mittels einfacher Analysefunktionen (Mittelwertbildung, Regression).	versus	Es stehen keine Analysefunktionen zur Verfügung.
Das System erlaubt die Auswertung der Messergebnisse mittels „fortgeschrittener“ Analysefunktionen (freier Kurvenfit etc.).	versus	Es stehen keine „fortgeschrittenen“ Analysefunktionen zur Verfügung.

In vielen Fällen können die gesuchten Größen nicht direkt gemessen, sondern müssen aus den Messwerten berechnet werden. Wichtig ist dabei nicht nur das Vorhandensein und die Ausprägtheit dieser Funktion, sondern auch der Flexibilität: kann die der Berechnung zugrunde liegende Formel sowohl im Voraus eingegeben als auch nachträglich verändert werden? Können beliebig viele der zu messenden Größen mit einbezogen werden?

Zentraler Bestandteil einer computerunterstützten Auswertung von Messdaten sind Analysefunktionen, angefangen von der einfachen Berechnung des Mittelwertes bis hin zur freien Anpassung. Dabei sollte sowohl die Qualität der Funktionen als auch die Vollständigkeit (Angabe von Standardabweichungen, Residuen o.ä.) im Blickpunkt stehen.

5.3.3.2 Benutzerfreundlichkeit

Einstieg

Dem Messwerverfassungssystem liegt ein umfangreiches Paket an Beispielexperimenten bei.	versus	Dem Messwerverfassungssystem liegen keine Beispielexperimente bei.
Ein multimediales Lernprogramm (Tutorial) unterstützt den Anwender bei der Nutzung von Hard- und Software.	versus	Das System beinhaltet kein Lernprogramm.
Die Software ist klar strukturiert, der Programmaufbau ist auch für den unerfahrenen Benutzer sofort verständlich.	versus	Der Programmaufbau ist unübersichtlich und/oder übermäßig verschachtelt.
Die Erstellung und der Aufbau von eigenen Experimenten ist dem unerfahrenen Benutzer möglich.	versus	Die Erstellung bzw. der Aufbau von eigenen Experimenten ist nur für erfahrene Benutzer und/oder unter Zuhilfenahme von detaillierten Anleitungen möglich.

Der Einstieg, d.h. das Erlernen der Arbeitsweise mit einem neuen Computerunterstützten Messwerverfassungssystem kann durch einige Aspekte erleichtert werden. Neben aktiven Hilfsmitteln wie einem Lernprogramm oder vorgefertigten Beispielexperimenten mit Erläuterungen ist dies vor allem aber auch die Struktur von Hard- und Software.

Bedienkonzept von Hard- und Software

Die Software erleichtert den Einstieg durch Nutzung von (Quasi-) Standard-Schaltflächen und Menüs.	versus	Keine Nutzung von (Quasi-) Standard-Schaltflächen und Menüs.
Der Software liegt ein durchgehendes Bedienkonzept zu Grunde, gleiche Aktionen (z.B. Tastenkombinationen oder Rechtsklick mit der Maus) führen in allen Programmteilen zum gleichen Ergebnis.	versus	Das Bedienkonzept ist uneinheitlich und variiert in den verschiedenen Komponenten des Systems.
Der Anschluss von Sensoren an das Messwerverfassungssystem erfolgt nach einem einheitlichen Prinzip.	versus	Das Anschlussprinzip der Sensoren variiert nach Art der Nutzung bzw. der Messgröße.

Auch wenn es schwer ist, die Bedienungsmöglichkeiten von Soft- und Hardware absolut zu bewerten, so gibt es doch Faktoren, die insbesondere dem unerfahrenen Benutzer den Umgang mit dem System erleichtern. Neben der Verwendung von Quasi-Standards in Hinblick auf die Bedienung (z.B. die aus vielen anderen Programmen bekannten Schaltflächen für das Speichern, Laden oder den Druck von Daten aber auch die Anordnung von Menüs oder Eingabefeldern) sind dies durchgehende Bedienkonzepte für Hard- und Software.

Datensicherheit

Die Software beinhaltet eine Undo-Funktion („Aktion rückgängig machen“) zur schnellen Behebung von Eingabefehlern.	versus	Es existiert keine Undo-Funktion.
Die Software warnt vor unabsichtlichem Löschen oder Überschreiben von Daten.	versus	Erfasste Daten können ohne Nachfrage oder Warnung gelöscht oder überschrieben werden.
Die Datensicherheit ist auch bei Computerabstürzen gegeben.	versus	Es gibt keine automatischen Maßnahmen zur Datensicherheit, Computerabstürze führen immer zum Datenverlust.
Hard- und Software sind fehlerfrei.	versus	Hard- oder Software ist Fehlerbehaftet, die Arbeit wird durch Fehlermeldungen oder Abstürze erschwert.

Grundsätzlich sollten sowohl Hard- als auch Software frei von Fehlern (Bugs) sein, vor allem, um vor Datenverlust zu schützen. Aber selbst wenn die Komponenten des Messwerterfassungssystem fehlerfrei funktionieren, ist die Gefahr nicht endgültig gebannt. Von Vorteil ist es daher, wenn auch Benutzer- und allgemeine Computerfehler keine ernsthaften Folgen haben. Zu bewerten ist daher: Können Eingabefehler korrigiert bzw. verhindert werden? Werden erfasste Messdaten automatisch mit ausreichender Häufigkeit gesichert?

Installation und Deinstallation

Der Benutzer wird bei Installation und Deinstallation der Software von einem Assistenten unterstützt. Eintragungen im Startmenü und Dateiverknüpfungen werden automatisch angelegt.	versus	Installation und Deinstallation müssen manuell vorgenommen werden, die Software bietet keinerlei Unterstützung.
Der Installationsaufwand bei der Softwareinstallation ist minimal.	versus	Der Arbeitsaufwand bei der Installation ist hoch, es sind viele Benutzereingaben erforderlich.

Auch wenn Installation und Deinstallation der Software in der Regel im Vergleich mit der eigentlichen Nutzung wesentlich seltener erfolgen müssen, so können diese Vorgänge trotzdem – insbesondere wenn die Konfiguration oder das Update mehrerer Arbeitsplätze nötig ist – zeit- und arbeitsaufwändig sein. Wichtiger Bestandteil der Software sind daher vollständige Installations- und Deinstallationsroutinen. In die Bewertung mit einbezogen werden sollte der darüber hinausgehende Arbeitsaufwand, z.B. die notwendige Eingabe von Freischaltcodes etc.

Handbuch und Hilfe

Dem Messwerterfassungssystem liegt ein aktuelles, umfassendes Handbuch in gedruckter bzw. druckbarer Form bei.	versus	Es existiert kein Handbuch.
Der Benutzer wird durch eine kontextbezogene Hilfefunktion unterstützt.	versus	Es gibt keine kontextbezogene Hilfefunktion.

Soft- und Hardware eines Computerunterstützten Messwerterfassungssystems sind komplexe Gebilde, so dass der Benutzer auf eine umfassende Dokumentation der Funktionen angewiesen ist. Neben einem Handbuch wird diese in der Regel durch eine in das Programm integrierte Online-Hilfe realisiert. Bei der Untersuchung dieser Komponenten sollten neben der Aktualität, Vollständigkeit und kontextbezogenen Funktionen (der Online-Hilfe) auch didaktische Aspekte beachtet werden.

Produktpflege und Support

Die Software wird ständig weiterentwickelt und verbessert, Updates werden vom Hersteller kostenlos bereitgestellt.	versus	Die Software unterliegt keiner Produktpflege.
Der Hersteller bietet einen kostenlosen Benutzersupport.	versus	Es gibt keinen Benutzersupport vom Hersteller.

Nicht immer können Probleme vom Benutzer des Messwerterfassungssystems allein gelöst werden. Wichtig ist daher, dass von Seiten des Herstellers die Kontinuität gewahrt wird. Dazu gehört neben dem Kundensupport auch die Pflege und Weiterentwicklung von Soft- und Hardware, so dass Fehler ausgebessert und fehlende Funktionen nachgerüstet werden können.

5.3.3.3 Unterrichtspraktische Aspekte

Sicherheit und Robustheit

Das Messwerterfassungssystem erfüllt die Richtlinien zur Sicherheit im Naturwissenschaftlichen Unterricht.	versus	Die Richtlinien zur Sicherheit im Naturwissenschaftlichen Unterricht werden nur unzureichend erfüllt.
Die Hardware genügt in Hinblick auf Verarbeitung und mechanischer Robustheit auch den Anforderungen von Schülerversuchen.	versus	Die Hardware des Systems kann leicht beschädigt werden.
Die Hardware ist gegen Fehlschaltungen, Überspannungen und Kurzschlüsse gesichert.	versus	Die Hardware des Systems kann leicht beschädigt werden.

Die Sicherheit der experimentierenden Lernenden und Lehrenden sollte natürlich gewährleistet sein. Das gilt aber auch für Hardwarekomponenten des Systems.

Konstruktion und Verarbeitung müssen daher so angelegt sein, dass auch Fehlbedienung nicht zur sofortigen Zerstörung führt.

Aufbau und Durchführung von Versuchen

Das Messwerterfassungssystem erlaubt einen übersichtlichen Aufbau der Experimente.	versus	Der übersichtliche Aufbau von Experimenten wird durch die Gegebenheiten der Hardware erschwert.
Das System ermöglicht die Vorbereitung auch von komplexen Versuchen, z.B. durch das Abspeichern von Versuchseinstellungen.	versus	Versuche können nicht vorbereitet werden.
Messungen können ohne komplette Neueingabe aller Parameter wiederholt werden.	versus	Jede Messung erfordert eine Neueingabe aller Parameter.
Eine Messung kann jederzeit abgebrochen werden.	versus	Messungen müssen immer bis zum Ende durchgeführt werden.
Eine Messung kann jederzeit unterbrochen und später fortgesetzt werden.	versus	Messungen können nicht unterbrochen werden.

Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme sollen die Durchführung von Experimenten im Physikunterricht unterstützen. Dies beinhaltet die Ermöglichung eines übersichtlichen Aufbaus auch aufwendiger Experimente. Beeinflusst wird dies z.B. durch Anordnung der Sensorensteckplätze, Art des Anschlusses und Kabellängen aber auch Form und Größe des Interfaces. Zu bewerten ist auch, ob das System die permanente bzw. temporäre Speicherung der Versuchsparameter erlaubt, so dass die Konfiguration der Kanäle oder das Verrechnen mehrerer Größen für einen Versuch gegebenenfalls vorbereitet bzw. die Messung ohne großen Arbeitsaufwand wiederholt werden kann.

Darstellung der Messergebnisse

Die Darstellung der Messergebnisse ist in der Größe anpassbar und auch aus größerer Entfernung lesbar.	versus	Die Größe der Anzeigen ist nicht veränderbar, die Messwerte sind aus größerer Entfernung nur schlecht abzulesen.
Die grafische Darstellung ist frei formatierbar (Verbindungslinien, Dicke, Farben, Kommentare etc.).	versus	Die grafische Darstellung ist nicht frei formatierbar.
Die Software erlaubt das problemlose Ausdrucken der Messergebnisse.	versus	Der Druck der Messergebnisse ist nicht oder nicht zufriedenstellend möglich.
Der Maßstab der grafischen Darstellung kann manuell und automatisch angepasst werden.	versus	Der Maßstab der grafischen Darstellung ist nicht veränderbar.
Neben der linearen ist auch eine logarithmische, quadratische etc. Skalierung möglich	versus	Es gibt neben der linearen Darstellung keine weiteren Möglichkeiten.

Die Darstellung der Messergebnisse ist eine der drei Hauptaufgaben eines vollständigen Messwerterfassungssystems. Besonders die Nutzung für Demonstrationsexperimente stellt hier gehobene Anforderungen, so sollte es möglich sein,

auch mittels eines normalen Computerbildschirms die Daten für alle Lernenden gut sichtbar zu präsentieren. Dabei ist zu untersuchen, inwieweit Größe, Formattierung und Skalierung aber auch das Ausgabemedium (z.B. Druckmöglichkeiten) für Anzeigeeinstrumente, Messwerttabellen und Graphen einstellbar sind.

Echtzeitfunktionen

Die Ergebnisse der Messung können in Echtzeit auch während der Messung dargestellt werden.	versus	Die Messergebnisse können erst nach Abschluss der Messung dargestellt werden.
Veränderungen an der Darstellung können auch während der Messung durchgeführt werden.	versus	Während der Messungen ist keine Änderung der Darstellung möglich.
Das System ermöglicht eine Analyse der Messergebnisse schon während der Messung.	versus	Analyseinstrumente stehen erst nach der Messung zur Verfügung.
Die Messparameter können auch während eines laufenden Experimentes verändert werden.	versus	Änderungen während eines Experiments sind nicht möglich, Einstellungen können nur vorher festgelegt werden.

Einige der Vorteile der Nutzung von Computern zur Messwerterfassung sind die Rechengeschwindigkeit und die Automation der Darstellung und der Auswertung, die es prinzipiell möglich machen, schon während des Versuchs die Ergebnisse zu präsentieren. Zu untersuchen ist dabei, inwieweit dies Möglichkeit (soweit vorhanden) bei der Entwicklung und der Durchführung eines Experimentes genutzt werden kann.

Mobilität

Das Messwerterfassungssystem ist mobil: weder Netzspannung noch Computer werden unmittelbar bei der Messung benötigt	versus	Das Messwerterfassungssystem benötigt während der Messung sowohl einen Stromanschluss als auch den Computer.
--	--------	--

Messungen müssen nicht immer nur im Physikraum stattfinden. Daher ist es von Vorteil, wenn ein Computerunterstütztes Messwerterfassungssystem uneingeschränkt portabel ist, d.h. auch unabhängig von Stromversorgung und Anschluss eines Computers operabel ist. Letzterer Punkt fällt allerdings bei Nutzung von Notebooks oder ähnlichen Computern nicht sehr ins Gewicht.

Anhang A

Analysebogen zur Analyse und Bewertung

Analyse und Bewertung
 von computerunterstützten Messwerferfassungssystemen
 für den Physikunterricht

System:	
Datum:	
Preis (ca.):	

Hardware / Sensor:		Version:				
Hersteller / Verlag:						
Typ:	modulares Interface <input type="checkbox"/>	Einzelmessgerät <input type="checkbox"/>	(LowCost) Peripherie <input type="checkbox"/>	sonstiges:		
Anschlussart:	seriell <input type="checkbox"/>	USB <input type="checkbox"/>	Firewire <input type="checkbox"/>	Infrarot <input type="checkbox"/>	Bluetooth <input type="checkbox"/>	sonstiges:
Software:		Version:				
Hersteller / Verlag:						
Systemvoraussetzungen:		CPU	Grafik	RAM	HDD	sonstiges:
Betriebssystem:		Windows		MacOS	Linux	sonstiges:
Sensorausstattung: <small>(direkt messbare Größen)</small>		Zeit <input type="checkbox"/>	Beschleunigung <input type="checkbox"/>	Stromstärke <input type="checkbox"/>	elektrische Ladung <input type="checkbox"/>	
	Weg <input type="checkbox"/>	Kraft <input type="checkbox"/>	Kraft <input type="checkbox"/>	Spannung <input type="checkbox"/>	magnetischer Fluss <input type="checkbox"/>	
	Ort <input type="checkbox"/>	Druck <input type="checkbox"/>	Druck <input type="checkbox"/>	Widerstand <input type="checkbox"/>	Radioaktivität <input type="checkbox"/>	
	Winkel <input type="checkbox"/>	Schallpegel <input type="checkbox"/>	Schallpegel <input type="checkbox"/>	Kapazität <input type="checkbox"/>	Energie <input type="checkbox"/>	
	Frequenz <input type="checkbox"/>	Lichtstärke <input type="checkbox"/>	Lichtstärke <input type="checkbox"/>	Induktivität <input type="checkbox"/>	Luftfeuchtigkeit <input type="checkbox"/>	
	Temperatur <input type="checkbox"/>	Beleuchtungsstärke <input type="checkbox"/>	Beleuchtungsstärke <input type="checkbox"/>			
Möglichkeiten:		Aufnahme <input type="checkbox"/>	Simulation <input type="checkbox"/>	Datenbank <input type="checkbox"/>	Lehrer <input type="checkbox"/>	
	Darstellung <input type="checkbox"/>	Modellbildung <input type="checkbox"/>	Lernumgebung <input type="checkbox"/>	Student <input type="checkbox"/>		
	Auswertung <input type="checkbox"/>	Steuern / Regeln <input type="checkbox"/>	Schüler <input type="checkbox"/>			

Henrik Bernshausen bemshausen@physik.uni-siegen.de

Abbildung A.1: Fragebogen zur Analyse und Bewertung von computerunterstützten Messwerferfassungssystemen, Seite 1

bernhhausen@physik.uni-siegen.de

Henrik Bernhausen

Analyse und Bewertung
Funktionalität

System:

Kriterium	Bewertung			Kontrast	Faktor	Punkte
Das Messwertfassungssystem ist auf vielen verschiedenen Betriebssystemen und Prozessplattformen einsetzbar (z.B. Windows, Linux, MacOS; aber auch verschiedene Versionen).	+2	+1	0	-1	-2	
Die Systemanforderungen der Software sind bescheiden.	+2	+1	0	-1	-2	
Das System ermöglicht die Erfassung vieler verschiedener Messgrößen aus allen Teilgebieten der Physik.	+2	+1	0	-1	-2	
Maximaler Messbereich, Messfrequenz und Auflösung genügen den Anforderungen unterichtsrelevanter Versuche.	+2	+1	0	-1	-2	
Es können beliebig viele Messwerte aufgenommen und gespeichert werden.	+2	+1	0	-1	-2	
Das Messwertfassungssystem erlaubt die Steuerung bzw. Regelung einzelner Komponenten des Versuchsaufbaus (z.B. Hallmagnete, Schrittmotoren oder Spannungsversorgung).	+2	+1	0	-1	-2	
Das Messwertfassungssystem beinhaltet alle zur Aufnahme der Messwerte relevanten Messinstrumente und Zubehörteile wie z.B. Adapterkabel.	+2	+1	0	-1	-2	
Die Software erlaubt sowohl das Messen als auch die Darstellung und Analyse der Ergebnisse.	+2	+1	0	-1	-2	
Der Startzeitpunkt des Experimentes kann über verschiedene Bedingungen (z.B. explizite Zeitangabe oder Einstellung eines Triggerwertes) festgelegt werden.	+2	+1	0	-1	-2	
Die Dauer der Messung ist einstellbar.	+2	+1	0	-1	-2	
Es sind beliebig viele Messgrößen gleichzeitig erfassbar.	+2	+1	0	-1	-2	
Die Software bietet umfangreiche Exportmöglichkeiten, d.h. die Messergebnisse können in verschiedenen Datenformaten abgespeichert werden.	+2	+1	0	-1	-2	
Die Software bietet umfangreiche Importmöglichkeiten, d.h. Daten unterschiedlicher Formate (auch anderer Messwertfassungssysteme) können verarbeitet werden.	+2	+1	0	-1	-2	
Das System erlaubt die Auswertung der Messergebnisse mittels einfacher Analysefunktionen (Mittelwertbildung, Regression).	+2	+1	0	-1	-2	
Das System erlaubt die Auswertung der Messergebnisse mittels „fortgeschrittener“ Analysefunktionen (freier Kurvenfit, etc.).	+2	+1	0	-1	-2	
Gemessenen Größen können zu einer neuen Größe verrechnet werden.	+2	+1	0	-1	-2	
Eigene Kriterien (-6 bis +6 Sonderpunkte)						
					Summe:	

Abbildung A.2: Fragebogen zur Analyse und Bewertung von computerunterstützten

Messwertfassungssystemen, Seite 2

bernshausen@physik.uni-siegen.de

Henrik Bernshausen

**Analyse und Bewertung
Benutzerfreundlichkeit**

System:

Kriterium	Bewertung	Kontrast	Faktor	Punkte
Dem Messwertfassungssystem liegt ein umfangreiches Paket an Beispielen vor.	+2 +1 0 -1 -2	Dem Messwertfassungssystem liegen keine Beispielen vor.		
Ein multimediales Lernprogramm (Tutorial) unterstützt den Anwender bei der Nutzung von Hard- und Software.	+2 +1 0 -1 -2	Das System beinhaltet kein Lernprogramm.		
Die Software ist klar strukturiert, der Programmaufbau ist auch für den unerfahrenen Benutzer sofort verständlich.	+2 +1 0 -1 -2	Der Programmaufbau ist unübersichtlich und/oder übermäßig verschachtelt.		
Die Erstellung und der Aufbau von eigenen Experimenten ist dem unerfahrenen Benutzer möglich.	+2 +1 0 -1 -2	Die Erstellung bzw. der Aufbau von eigenen Experimenten ist nur für erfahrene Benutzer und/oder unter Zuhilfenahme von detaillierten Anleitungen möglich.		
Die Software erleichtert den Einstieg durch Nutzung von (Quasi-) Standard-Schnittflächen und Menüs.	+2 +1 0 -1 -2	Keine Nutzung von (Quasi-) Standard-Schnittflächen und Menüs.		
Der Software liegt ein durchgehendes Bedienkonzept zu Grunde, d.h. gleiche Aktionen (z.B. Tasterkombinationen oder Rechtsklick mit der Maus) führen in allen Programmmitteln zum gleichen Ergebnis.	+2 +1 0 -1 -2	Das Bedienkonzept ist uneinheitlich und variiert in den verschiedenen Komponenten des Systems.		
Der Anschluss von Sensoren an das Messwertfassungssystem erfolgt nach einem einheitlichen Prinzip.	+2 +1 0 -1 -2	Das Anschlussprinzip der Sensoren variiert nach Art der Nutzung bzw. der Messgröße.		
Die Software beinhaltet eine Undo-Funktion (Aktion rückgängig machen) zur schnellen Behebung von Eingabefehlern.	+2 +1 0 -1 -2	Es existiert keine Undo-Funktion.		
Die Datensicherheit ist auch bei Computerabstürzen gegeben.	+2 +1 0 -1 -2	Es gibt keine automatischen Maßnahmen zur Datensicherheit, Computerabstürze führen immer zum Datenverlust.		
Die Software warnt vor unabsichtlichem Löschen oder Überschreiben von Daten.	+2 +1 0 -1 -2	Erfasste Daten können ohne Nachfrage oder Warnung gelöscht oder überschrieben werden.		
Hard- und Software sind fehlerfrei.	+2 +1 0 -1 -2	Hard- oder Software ist fehlerbehaftet, die Arbeit wird durch Fehlermeldungen oder Abstürze erschwert.		
Der Benutzer wird bei Installation und Deinstallation der Software von einem Assistenten unterstützt. Eintragungen im Startmenü und Dateiverknüpfungen werden automatisch angelegt.	+2 +1 0 -1 -2	Installation und Deinstallation müssen manuell vorgenommen werden, die Software bietet keinerlei Unterstützung.		
Der Installationsaufwand bei der Softwareinstallation ist minimal.	+2 +1 0 -1 -2	Der Arbeitsaufwand bei der Installation ist hoch, es sind viele Benutzerengaben erforderlich.		
Dem Messwertfassungssystem liegt ein aktuelles, umfassendes Handbuch in gedruckter bzw. druckbarer Form bei.	+2 +1 0 -1 -2	Es existiert kein Handbuch.		
Der Benutzer wird durch eine kontextbezogene Hilfefunktion unterstützt.	+2 +1 0 -1 -2	Es gibt keine kontextbezogene Hilfefunktion.		
Die Software wird ständig weiterentwickelt und verbessert, Updates werden vom Hersteller kostenlos bereitgestellt.	+2 +1 0 -1 -2	Die Software unterliegt keiner Produktpflege.		
Der Hersteller bietet einen kostenlosen Benutzersupport.	+2 +1 0 -1 -2	Es gibt keinen Benutzersupport vom Hersteller.		
Eigene Kriterien (+6 bis +6 Sonderpunkte)				
Summe:				

Abbildung A.3: Fragebogen zur Analyse und Bewertung von computerunterstützten Messwertfassungssystemen, Seite 3

bernshausen@physik.uni-siegen.de

Henrik Bernshausen

Analyse und Bewertung
Unterrichtspraktische Aspekte

System:

Kriterium	Bewertung			Kontrast	Faktor	Punkte
Das Messwertfassungssystem erfüllt die Richtlinien zur Sicherheit im Naturwissenschaftlichen Unterricht.	+2	+1	0	-1	-2	
Die Hardware genügt in Hinblick auf Verarbeitung und mechanischer Robustheit auch den Anforderungen von Schülerversuchen.	+2	+1	0	-1	-2	
Die Hardware ist gegen Fehlschaltungen, Überspannungen und Kurzschlüsse gesichert.	+2	+1	0	-1	-2	
Das Messwertfassungssystem erlaubt einen übersichtlichen Aufbau der Experimente.	+2	+1	0	-1	-2	
Das System ermöglicht die Vorbereitung auch von komplexen Versuchen, z.B. durch das Absichern von Versuchseinstellungen.	+2	+1	0	-1	-2	
Messungen können ohne komplette Neueingabe aller Parameter wiederholt werden.	+2	+1	0	-1	-2	
Eine Messung kann jederzeit abgetrochen werden.	+2	+1	0	-1	-2	
Eine Messung kann jederzeit unterbrochen und später fortgesetzt werden.	+2	+1	0	-1	-2	
Die Darstellung der Messergebnisse ist in der Größe anpassbar und auch aus größerer Entfernung lesbar.	+2	+1	0	-1	-2	
Der Maßstab der grafischen Darstellung kann manuell und automatisch angepasst werden.	+2	+1	0	-1	-2	
Die grafische Darstellung ist frei formatierbar (Verbindungslinien, Dicke, Farben, Kommentare etc.).	+2	+1	0	-1	-2	
Die Ergebnisse der Messung können in Echtzeit auch während der Messung dargestellt werden.	+2	+1	0	-1	-2	
Veränderungen an der Darstellung können auch während der Messung durchgeführt werden.	+2	+1	0	-1	-2	
Das System ermöglicht eine Analyse der Messergebnisse schon während der Messung.	+2	+1	0	-1	-2	
Die Messparameter können auch während eines laufenden Experimentes verändert werden.	+2	+1	0	-1	-2	
Die Software erlaubt das problemlose Ausdrucken der Messergebnisse.	+2	+1	0	-1	-2	
Das Messwertfassungssystem ist mobil: weiter Netzspannung noch Computer werden unmittelbar bei der Messung benötigt.	+2	+1	0	-1	-2	
Eigene Kriterien (+6 bis +6 Sonderpunkte)						
Summe:						

Abbildung A.4: Fragebogen zur Analyse und Bewertung von computerunterstützten Messwertfassungssystemen, Seite 4

Henrik Bernshausen Analyse und Bewertung Zusammenfassung		bernshausen@physik.uni-siegen.de	
System:			
Bewertung		Stärken und Schwächen des Messwertfassungssystems	
Funktionalität		positiv	
Benutzerfreundlichkeit			
Unterrichtspraktische Aspekte			
gesamt		negativ	
		Kommentar	

Abbildung A.5: Fragebogen zur Analyse und Bewertung von computerunterstützten Messwertfassungssystemen, Seite 5

Anhang A Analysebogen zur Analyse und Bewertung



UNIVERSITÄT
SIEGEN



DIDAKTIK DER
PHYSIK

Analyse und Bewertung
von computerunterstützten Messwerferfassungssystemen
für den Physikunterricht

System: CoachLab II+
Datum: 23.10 - 13.11
Preis (ca.): 200€ (bei Ausstattung) + 700€ + MwSt

Hardware / Sensor:		Version: <u>6</u>			
Hersteller / Verlag: <u>Amstel Institute / CMA Foundation</u>					
Typ:	modulares Interface <input checked="" type="checkbox"/>	Einzelmessgerät <input type="checkbox"/>	(LowCost) Interface <input type="checkbox"/>	(LowCost) Peripherie <input type="checkbox"/>	sonstiges: <input type="checkbox"/>
Anschlussart:	seriell <input type="checkbox"/>	USB <input checked="" type="checkbox"/>	Firewire <input type="checkbox"/>	Infrarot <input type="checkbox"/>	Bluetooth <input type="checkbox"/>
Software: <u>CoachLab 6</u>		Version: <u>6</u>			
Hersteller / Verlag: <u>APE s.o.</u>					
Systemvoraussetzungen:	CPU <u>500-1000MHz</u>	Grafik <u>DirektX 3 800</u>	RAM <u>1GB-2GB</u>	HDD <u>150MB</u>	sonstiges: <input type="checkbox"/>
Betriebssystem:	Windows <u>Win 98 / Win 2000 / Win XP</u>	MacOS <u>-</u>	Linux <u>-</u>	sonstiges: <input type="checkbox"/>	
Sensorausstattung: (direkt messbare Größen)	Zeit <input checked="" type="checkbox"/>	Beschleunigung <input type="checkbox"/>	Stromstärke <input checked="" type="checkbox"/>	elektrische Ladung <input type="checkbox"/>	
	Weg <input checked="" type="checkbox"/>	Kraft <input checked="" type="checkbox"/>	Spannung <input checked="" type="checkbox"/>	magnetischer Fluss <input type="checkbox"/>	
	Ort <input checked="" type="checkbox"/>	Druck <input type="checkbox"/>	Widerstand <input type="checkbox"/>	Radioaktivität <input type="checkbox"/>	
	Winkel <input type="checkbox"/>	Schallpegel <input checked="" type="checkbox"/>	Kapazität <input checked="" type="checkbox"/>	Energie <input type="checkbox"/>	
	Frequenz <input type="checkbox"/>	Lichtstärke <input type="checkbox"/>	Induktivität <input checked="" type="checkbox"/>	Luftfeuchtigkeit <input type="checkbox"/>	
Temperatur <input checked="" type="checkbox"/>	Beleuchtungsstärke <input type="checkbox"/>				
Möglichkeiten:	Aufnahme <input checked="" type="checkbox"/>	Simulation <input type="checkbox"/>	Datenbank <input type="checkbox"/>	Status: Lehrer <input type="checkbox"/> Student <input checked="" type="checkbox"/> Schüler <input type="checkbox"/>	
	Darstellung <input checked="" type="checkbox"/>	Modellbildung <input checked="" type="checkbox"/>	Lernumgebung <input type="checkbox"/>		
	Auswertung <input checked="" type="checkbox"/>	Steuern / Regeln <input checked="" type="checkbox"/>			

Henrik Bernshausen nicht im Uni-Satz bernshausen@physik.uni-siegen.de

Henrik Bernshausen bernshausen@physik.uni-siegen.de

Analyse und Bewertung System: coachlab II+

Funktionalität

Kriterium	Bewertung					Kontrast	Faktor	Punkte
Das Messwerferfassungssystem ist auf vielen verschiedenen Betriebssystemen und Prozessorplattformen einsetzbar (z.B. Windows, Linux, MacOS, aber auch verschiedene Versionen).	+2	+1	0	-1	-2	Die Zahl der nutzbaren Betriebssysteme und Prozessorplattformen ist sehr begrenzt.	0	0
Die Systemanforderungen der Software sind bescheiden.	+2	+1	0	-1	-2	Die Software stellt hohe Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Computers.	1	2
Das System ermöglicht die Erfassung vieler verschiedener Messgrößen aus allen Teilgebieten der Physik.	+2	+1	0	-1	-2	Es ist nur eine physikalische Größe erfassbar.	3	6
Maximaler Messbereich, Messfrequenz und Auflösung genügen den Anforderungen unterrichtsrelevanter Versuche.	+2	+1	0	-1	-2	Das Messwerferfassungssystem ist aufgrund zu kleinem maximalem Messbereich, zu niedriger Messfrequenz und / oder fehlendem Auflösungsvermögen nur für sehr wenige Experimente einsetzbar.	3	6
Es können beliebig viele Messwerte aufgenommen und gespeichert werden.	+2	+1	0	-1	-2	Die maximale Zahl der Messwerte ist begrenzt.	2	2
Das Messwerferfassungssystem erlaubt die Steuerung bzw. Regelung einzelner Komponenten des Versuchsaufbaus (z.B. Haltemagnete, Schrittmotoren oder Spannungsversorgung).	+2	+1	0	-1	-2	Eine Steuerung oder Regelung einzelner Versuchskomponenten ist nicht möglich.	1	1
Das Messwerferfassungssystem beinhaltet alle zur Aufnahme der Messwerte relevanten Messinstrumente und Zubehörteile wie z.B. Adapterkabel.	+2	+1	0	-1	-2	Zur Aufnahme der Messwerte werden neben dem Messwerferfassungssystem weitere Messinstrumente, Adapterkabel oder ähnliches Zubehör benötigt.	2	0
Die Software erlaubt sowohl das Messen als auch die Darstellung und Analyse der Ergebnisse.	+2	+1	0	-1	-2	Das System erfordert zusätzliche Software zur Messung, Darstellung oder Analyse.	3	6
Der Startzeitpunkt des Experimentes kann über verschiedene Bedingungen (z.B. explizite Zeitangabe oder Einstellung eines Triggerwertes) festgelegt werden.	+2	+1	0	-1	-2	Es kann kein Startzeitpunkt festgelegt werden.	3	6
Die Dauer der Messung ist einstellbar.	+2	+1	0	-1	-2	Die Dauer der Messung ist nicht veränderbar bzw. das Experiment muss manuell beendet werden.	3	6
Es sind beliebig viele Messgrößen gleichzeitig erfassbar.	+2	+1	0	-1	-2	Es kann nur immer eine Messgröße gleichzeitig aufgenommen werden.	1	1
Die Software bietet umfangreiche Exportmöglichkeiten, d.h. die Messergebnisse können in verschiedenen Datenformaten abgespeichert werden.	+2	+1	0	-1	-2	Die Software bietet keine Exportmöglichkeiten.	1	2
Die Software bietet umfangreiche Importmöglichkeiten, d.h. Daten unterschiedlicher Formate (auch anderer Messwerferfassungssysteme) können verarbeitet werden.	+2	+1	0	-1	-2	Die Software bietet keine Importmöglichkeiten.	1	2
Das System erlaubt die Auswertung der Messergebnisse mittels einfacher Analysefunktionen (Mittelwertbildung, Regression).	+2	+1	0	-1	-2	Es stehen keine Analysefunktionen zur Verfügung.	2	2
Das System erlaubt die Auswertung der Messergebnisse mittels „fortgeschrittener“ Analysefunktionen (freier Kurvenfit etc.).	+2	+1	0	-1	-2	Es stehen keine „fortgeschrittenen“ Analysefunktionen zur Verfügung.	2	-2
Gemessenen Größen können zu einer neuen Größe verrechnet werden.	+2	+1	0	-1	-2	Die Verrechnung von Messgrößen ist nicht möglich.	3	6
Eigene Kriterien (-6 bis +6 Sonderpunkte)								
Summe:							3	41

Abbildung A.6: Beispiel eines ausgefüllten Analysebogens (Seite 1 und 2)

Anhang A Analysebogen zur Analyse und Bewertung

4

Henrik Bernshausen

bernshausen@physik.uni-siegen.de

Analyse und Bewertung Benutzerfreundlichkeit

System: CoaCl Lab II⁺

Kriterium	Bewertung	Kontrast	Faktor	Punkte
Dem Messwertfassungssystem liegt ein umfangreiches Paket an Beispielen bei.	<input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Dem Messwertfassungssystem liegen keine Beispielen bei.	2	4
Ein multimediales Lernprogramm (Tutorial) unterstützt den Anwender bei der Nutzung von Hard- und Software.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input checked="" type="checkbox"/> 0 <input checked="" type="checkbox"/> -1 <input checked="" type="checkbox"/> -2	Das System beinhaltet kein Lernprogramm.	0	0
Die Software ist klar strukturiert, der Programmaufbau ist auch für den unerfahrenen Benutzer sofort verständlich.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input checked="" type="checkbox"/> -1 <input checked="" type="checkbox"/> -2	Der Programmaufbau ist unübersichtlich und/oder übermäßig verschachtelt.	3	-3
Die Erstellung und der Aufbau von eigenen Experimenten ist dem unerfahrenen Benutzer möglich.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input checked="" type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Die Erstellung bzw. der Aufbau von eigenen Experimenten ist nur für erfahrene Benutzer und/oder unter Zuhilfenahme von detaillierten Anleitungen möglich.	2	0
Die Software erleichtert den Einstieg durch Nutzung von (Quasi-) Standard-Schaltflächen und Menüs.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Keine Nutzung von (Quasi-) Standard-Schaltflächen und Menüs.	3	3
Der Software liegt ein durchgehendes Bedienkonzept zu Grunde, d.h. gleiche Aktionen (z.B. Tastenkombinationen oder Rechtsklick mit der Maus) führen in allen Programmbereichen zum gleichen Ergebnis.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Das Bedienkonzept ist uneinheitlich und variiert in den verschiedenen Komponenten des Systems.	3	3
Der Anschluss von Sensoren an das Messwertfassungssystem erfolgt nach einem einheitlichen Prinzip.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Das Anschlussprinzip der Sensoren variiert nach Art der Nutzung bzw. der Messgröße.	1	2
Die Software beinhaltet eine Undo-Funktion („Aktion rückgängig machen“) zur schnellen Behebung von Eingabefehlern.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Es existiert keine Undo-Funktion.	3	3
Die Datensicherheit ist auch bei Computerabstürzen gegeben.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input checked="" type="checkbox"/> -2	Es gibt keine automatischen Maßnahmen zur Datensicherheit, Computerabstürze führen immer zum Datenverlust.	2	-4
Die Software warnt vor unabsichtlichem Löschen oder Überschreiben von Daten.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Erfasste Daten können ohne Nachfrage oder Warnung gelöscht oder überschrieben werden.	2	4
Hard- und Software sind fehlerfrei.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Hard- oder Software ist fehlerhaft, die Arbeit wird durch Fehlermeldungen oder Abstürze erschwert.	3	0
Der Benutzer wird bei Installation und Deinstallation der Software von einem Assistenten unterstützt. Eintragungen im Startmenü und Dateiverknüpfungen werden automatisch angelegt.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Installation und Deinstallation müssen manuell vorgenommen werden, die Software bietet keinerlei Unterstützung.	1	2
Der Installationsaufwand bei der Softwareinstallation ist minimal.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Der Arbeitsaufwand bei der Installation ist hoch, es sind viele Benutzereingaben erforderlich.	1	0
Dem Messwertfassungssystem liegt ein aktuelles, umfassendes Handbuch in gedruckter bzw. druckbarer Form bei.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Es existiert kein Handbuch.	2	0
Der Benutzer wird durch eine kontextbezogene Hilfefunktion unterstützt.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Es gibt keine kontextbezogene Hilfefunktion.	3	6
Die Software wird ständig weiterentwickelt und verbessert. Updates werden vom Hersteller kostenlos bereitgestellt.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Die Software unterliegt keiner Produktpflege.	1	2
Der Hersteller bietet einen kostenlosen Benutzersupport.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Es gibt keinen Benutzersupport vom Hersteller.	1	0
Eigene Kriterien (-6 bis +6 Sonderpunkte)				
Summe:			33	22

5

Henrik Bernshausen

bernshausen@physik.uni-siegen.de

Analyse und Bewertung Unterrichtspraktische Aspekte

System: CoaCl Lab II⁺

Kriterium	Bewertung	Kontrast	Faktor	Punkte
Das Messwertfassungssystem erfüllt die Richtlinien zur Sicherheit im naturwissenschaftlichen Unterricht.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Die Richtlinien zur Sicherheit im naturwissenschaftlichen Unterricht werden nur unzureichend erfüllt.	3	6
Die Hardware genügt in Hinblick auf Verarbeitung und mechanischer Robustheit auch den Anforderungen von Schülerversuchen.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Die Hardware des Systems kann leicht beschädigt werden.	3	6
Die Hardware ist gegen Fehlschaltungen, Überspannungen und Kurzschlüsse gesichert.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Die Hardware des Systems kann leicht beschädigt werden.	3	6
Das Messwertfassungssystem erlaubt einen übersichtlichen Aufbau der Experimente.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Der übersichtliche Aufbau von Experimenten wird durch die Gegebenheiten der Hardware erschwert.	3	6
Das System ermöglicht die Vorbereitung auch von komplexen Versuchen, z.B. durch das Abspeichern von Versuchseinstellungen.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Versuche können nicht vorbereitet werden.	3	6
Messungen können ohne komplette Neueingabe aller Parameter wiederholt werden.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Jede Messung erfordert eine Neueingabe aller Parameter.	2	4
Eine Messung kann jederzeit unterbrochen und später fortgesetzt werden.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Messungen müssen immer bis zum Ende durchgeführt werden.	3	6
Eine Messung kann jederzeit unterbrochen und später fortgesetzt werden.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input checked="" type="checkbox"/> -2	Messungen können nicht unterbrochen werden.	1	-2
Die Darstellung der Messergebnisse ist in der Größe anpassbar und auch aus größerer Entfernung lesbar.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Die Größe der Anzeigen ist nicht veränderbar, die Messwerte sind aus größerer Entfernung nur schlecht abzulesen.	3	6
Der Maßstab der grafischen Darstellung kann manuell und automatisch angepasst werden.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Der Maßstab der grafischen Darstellung ist nicht veränderbar.	1	2
Neben der linearen ist auch eine logarithmische, quadratische etc. Skalierung möglich.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Es gibt neben der linearen Darstellung keine weiteren Möglichkeiten.	2	4
Die grafische Darstellung ist frei formatierbar (Verbindungslinien, Dicke, Farben, Kommentare etc.).	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Die grafische Darstellung ist nicht frei formatierbar.	1	0
Die Ergebnisse der Messung können in Echtzeit auch während der Messung dargestellt werden.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Die Messergebnisse können erst nach Abschluss der Messung dargestellt werden.	3	6
Veränderungen an der Darstellung können auch während der Messung durchgeführt werden.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Während der Messungen ist keine Änderung der Darstellung möglich.	2	4
Das System ermöglicht eine Analyse der Messergebnisse schon während der Messung.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input checked="" type="checkbox"/> -1 <input checked="" type="checkbox"/> -2	Analyseinstrumente stehen erst nach der Messung zur Verfügung.	1	1
Die Messparameter können auch während eines laufenden Experimentes verändert werden.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input checked="" type="checkbox"/> -2	Änderungen während eines Experimentes sind nicht möglich, Einstellungen können nur vorher festgelegt werden.	0	0
Die Software erlaubt das problemlose Ausdrucken der Messergebnisse.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input type="checkbox"/> -2	Der Druck der Messergebnisse ist nicht oder nicht zufrieden stellend möglich.	1	2
Das Messwertfassungssystem ist mobil: weder Netzspannung noch Computer werden unmittelbar bei der Messung benötigt.	<input checked="" type="checkbox"/> +2 <input checked="" type="checkbox"/> +1 <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> -1 <input checked="" type="checkbox"/> -2	Das Messwertfassungssystem benötigt während der Messung sowohl einen Stromanschluss als auch den Computer.	0	0
Eigene Kriterien (-6 bis +6 Sonderpunkte)				
Summe:			35	63

Σ 126

Abbildung A.7: Beispiel eines ausgefüllten Analysebogens (Seite 3 und 4)

Anhang A Analysebogen zur Analyse und Bewertung

Henrik Bernshausen bernshausen@physik.uni-siegen.de

Analyse und Bewertung
Zusammenfassung System: CoachLab II +

Bewertung	Stärken und Schwächen des Messwerterfassungssystems
<p style="text-align: center;">Funktionalität</p> <p style="text-align: center;">+62 ----- 0 ----- -62</p> <p style="text-align: center;">Benutzerfreundlichkeit</p> <p style="text-align: center;">+66 ----- 0 ----- -66</p> <p style="text-align: center;">Unterrichtspraktische Aspekte</p> <p style="text-align: center;">+20 ----- 0 ----- -20</p> <hr/> <p style="text-align: center;">gesamt</p> <p style="text-align: center;">+148 ----- 0 ----- -148</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Autonomes System - angeschlossene Messgeräte autom. erkannt - Bedienungsanleitung zu den einzelnen Messgeräten (Übabbil Daten) <hr/> <ul style="list-style-type: none"> - Bezeichnung auf Coach Lab II irreführend - Handbuch nicht in deutsch - Fehlerbehebung - Unterschiedliche Fkt. beim anwenden von Analysefkt.
Kommentar	

Abbildung A.8: Beispiel eines ausgefüllten Analysebogen (Seite 5)

Abbildungsverzeichnis

2.1	Sensor-CASSY	
	Quelle: www.leybold-didactic.de	17
2.2	Speed-Buttons des Programmes CASSY Lab	
	(Quelle: Hund u. a., 2007b)	21
2.3	Bedienungselemente im Programm CASSY Lab	
	(Quelle: Hund und Wietzke, 2007)	22
2.4	Das Einstellungsfenster von CASSY Lab	
	(Quelle: Hund und Wietzke, 2007)	23
2.5	Das Messparameter-Fenster	
	(Quelle: Hund und Wietzke, 2007)	24
2.6	BASIC-UNIT	
	(Quelle: Weißel u. a., 2007)	29
2.7	Das Hauptfenster von Measure	
	(Quelle: Weißel u. a., 2007)	31
2.8	Bedienungselemente in Measure	
	(Quelle: Weißel u. a., 2007)	32
2.9	Messeinstellungen des Softwaremoduls Druck	
	(Quelle: Weißel u. a., 2007)	36
2.10	Messeinstellungen des Softwaremoduls Universalschreiber	
	(Quelle: Weißel u. a., 2007)	37
2.11	Messeinstellungen des Softwaremoduls Translation/Rotation	
	(Quelle: Weißel u. a., 2007)	38
2.12	PowerGraph	
	(Quelle: Weißel u. a., 2007)	39

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

2.13	Starten einer Messung mit Measure (Quelle: Weißel u. a., 2007)	39
2.14	CoachLab II ⁺ Quelle: www.ntl.de	44
2.15	Messwerterfassung mit Coach 6 (Quelle: Coach6, 2007)	45
2.16	Die Haupt-Symbolleiste in Coach 6 (Quelle: Coach6, 2007)	48
2.17	Die Aktivitäten-Symbolleiste in Coach 6 (Quelle: Coach6, 2007)	50
2.18	Coach 6: Einstellungen für Aktivitäten (Quelle: Coach6, 2007)	51
2.19	Coach 6: Schnittstellenfenster (Quelle: Coach6, 2007)	52
2.20	Coach 6: Messeinstellungsfenster (Quelle: Coach6, 2007)	53
2.21	Das System XLS 100 Quelle: www.xlsmess.de	61
2.22	Excel-basierte Messwerterfassung mit XLSmess (Quelle: Hartmann, 2004)	63
2.23	Das Steuerfenster von XLS200XP (Quelle: Hartmann, 2004)	65
2.24	VideoCom (Quelle: www.ld-didactic.com)	70
2.25	Weglänge und Auflösung bei VideoCom (Quelle: Hund, 1998)	70
2.26	VideoCom Bewegungen und Intensitäten (Quelle: Hund, 2007a)	71
2.27	Speedbuttons der Programme VideoCom Bewegung und Video- Com Intensitäten (Quelle: Hund, 2007a)	72

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

2.28 Das Einstellungsfenster von VideoCom Bewegungen (Quelle: Hund, 2007a)	73
2.29 Das Einstellungsfenster von VideoCom Intensitäten (Quelle: Hund, 2007a)	75
2.30 Die Philips ToUcam PRO II PCVC840K (Quelle: Philips, 2003)	81
2.31 Berührungslose Bewegungsmessung mit Viana (Quelle: Kersting u. a., 2004)	83
2.32 Manuelle Auswertung mit Viana (Quelle: Kersting u. a., 2004)	85
2.33 Das Auswertungsfenster von Viana (Quelle: Kersting u. a., 2004)	87
3.1 Gangunterschied zweier Strahlen beim Doppelspalt	89
3.2 Zur Positionsbestimmung der Maxima und Minima beim Doppelspalt	90
3.3 Zur Positionsbestimmung der Maxima und Minima beim Gitter .	91
3.4 Zur Positionsbestimmung der Maxima und Minima beim Einzelspalt	92
3.5 Zur Berechnung der Intensitätsverteilung	93
3.6 Versuchsaufbau für Interferenzversuche	95
3.7 Gangunterschied zweier Strahlen	96
3.8 Fraunhofer'sche Beugungsmuster im Nahfeld	97
3.9 Versuchsaufbau	100
3.10 Zur Positionsbestimmung: $U \sim l$ (gemessen mit CASSY-S/CASSY Lab)	104
3.11 Zur Bestimmung der Intensität: Zusammenhang zwischen Leer- laufspannung und Beleuchtungsstärke (gemessen mit CASSY-S/- CASSY Lab)	105
3.12 Zur Positionsbestimmung des Sensors	106
3.13 Versuchsaufbau mit dem System CASSY-S/CASSY Lab	108
3.14 Die Einstellungen des Sensoreingangs U_{B1} (Quelle: Hund und Wietzke, 2007)	108
3.15 Beispiel zur Kalibrierung des „Ortssensors“ (Quelle: Hund und Wietzke, 2007)	109

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

3.16 Die Einstellungen im Messparameter-Fenster (Quelle: Hund und Wietzke, 2007)	110
3.17 Die Anpassung der theoretischen Intensitätsverteilungen an die experimentell bestimmten Werte (Quelle: Hund und Wietzke, 2007)	111
3.18 Intensitätsverteilung bei der Interferenz am Doppelspalt($d = 0,12$ mm, $a = 0,6$ mm; schwarz: Messkurve; rot: Kurvenfit), gemessen mit CASSY-S/CASSY Lab CASSY Lab	112
3.19 Versuchsaufbau mit dem System Cobra3/Measure	115
3.20 Die Einstellungen des Sensoreingangs „Analog In 1“ (Quelle: Weißel u. a., 2007)	116
3.21 Zur Konfiguration eines virtuellen Messgerätes (Quelle: Weißel u. a., 2007)	117
3.22 Die Anpassung der theoretischen Intensitätsverteilungen an die experimentell bestimmten Werte (Quelle: Weißel u. a., 2007)	118
3.23 Kanalumwandlung in Measure (Quelle: Weißel u. a., 2007)	119
3.24 Intensitätsverteilung bei der Interferenz am Doppelspalt($d = 0,12$ mm, $a = 0,6$ mm), gemessen mit Cobra3/Measure	120
3.25 Zur Bestimmung der Wellenlänge des verwendeten Lasers	121
3.26 Versuchsaufbau mit dem System Coachlab II ⁺ /Coach 6	123
3.27 Kanalumwandlung in Measure (Quelle: Coach6, 2007)	124
3.28 Das Statistikfenster - Bestimmung der Verschiebung des Intensitätsspektrums (Quelle: Coach6, 2007)	125
3.29 Vergrößerter Ausschnitt der Intensitätsverteilung bei der Beugung am Spalt($d = 0,24$ mm), gemessen mit Coachlab II ⁺ /Coach 6	126
3.30 Zur Bestimmung der Wellenlänge des verwendeten Lasers	127
3.31 Versuchsaufbau mit XLSmess	129
3.32 Die Auswertung der Messung in Excel	130

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

3.33	Beispielmessung und -auswertung mit XLSmess und Microsoft Excel: Beugung am Einzelspalt ($d = 0,24$ mm)	132
3.34	Linearer Zusammenhang zwischen $\sin \alpha$ und Ordnung n	133
3.35	Versuchsaufbau	134
3.36	Versuchsaufbau mit dem System Videocom	136
3.37	Theorievergleich mit VideoCom Intensitäten	137
3.38	Intensitätsverteilung bei der Interferenz am Doppelspalt ($d = 0,12$ mm, $a = 0,6$ mm; schwarz: Messkurve; rot: Kurvenfit mit CASSY Lab), gemessen mit VideoCom	138
3.39	Beispiel von Kopfzeilen einer Textdatei zum Import von Daten in CASSY Lab	139
3.40	Interferenzmuster eines Doppelspalt ($d = 0,12$ mm, $g = 0,6$ mm), aufgenommen mit einer Philips ToUcam 840K. Oben: Beide Spalte. Unten: Ein Spalt abgedeckt.	140
3.41	Versuchsaufbau	141
3.42	Auswertung eines Interferenzbildes mit Microsoft Excel	142
3.43	Die Auswertung des Bildes in Excel	144
3.44	Das Beugungsmuster eines Einfachspalt ($d = 0,45$ mm, $\lambda = 540$ nm)	145
3.45	Die halbautomatische Auswertung von Beugungsbildern mit Excel	146
4.1	Begrenzung des internen Speichers der BASIC-UNIT (Quelle: Weißel u. a., 2007)	151
4.2	Kurvenfit mit Measure (schwarz: theoretische Intensitätsverteilung bei der Interferenz am Doppelspalt, grün: Versuch eines Kurvenfits mit festen Parametern)	153
4.3	Fehlerhafte Datenübertragung mit XLSmess	159
4.4	Sicherheitsabfragen bei Measure und CASSY Lab (Quelle: Hund und Wietzke, 2007; Weißel u. a., 2007)	160
A.1	Fragebogen zur Analyse und Bewertung von computerunterstützten Messwerterfassungssystemen, Seite 1	188

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

A.2	Fragebogen zur Analyse und Bewertung von computerunterstützten Messwerterfassungssystemen, Seite 2	189
A.3	Fragebogen zur Analyse und Bewertung von computerunterstützten Messwerterfassungssystemen, Seite 3	190
A.4	Fragebogen zur Analyse und Bewertung von computerunterstützten Messwerterfassungssystemen, Seite 4	191
A.5	Fragebogen zur Analyse und Bewertung von computerunterstützten Messwerterfassungssystemen, Seite 5	192
A.6	Beispiel eines ausgefüllten Analysebogens (Seite 1 und 2)	193
A.7	Beispiel eines ausgefüllten Analysebogens (Seite 3 und 4)	194
A.8	Beispiel eines ausgefüllten Analysebogens (Seite 5)	195

Tabellenverzeichnis

2.1	CASSY-S: Sensoren und Sensorboxen für den Physikunterricht (Quelle: Hund und Wietzke, 2007)	19
2.2	Cobra3: Module und Sensoren für den Physikunterricht (Quelle: Phywe, 2007d)	30
2.3	Maximale Messfrequenzen mit CoachLab II ⁺ (Quelle: Mioduszevska und Dorenbos, 2005)	44
2.4	CMA-Sensoren für CoachLab II ⁺ (Quelle: Mioduszevska und Dorenbos, 2005)	46
2.5	Kurzbefehle in Coach 6 (Quelle: Coach6, 2008)	48
2.6	Von der XLSmess-Grundkonfiguration unterstützte Messgeräte (Quelle: Hartmann, 1999)	62
2.7	Messmöglichkeiten mit dem Multimeter Tecpel 8061 (Quelle: Tecpel)	62
3.1	Ausgewählte Sensoren zur Positionsbestimmung (Quelle: Hund u. a., 2007a; Phywe, 2007d)	103
3.2	Zur Auswertung	127
3.3	Zur Auswertung	132
4.1	Die minimalen Systemanforderungen der getesteten Systeme (Quellen: Kędzierska u. a., 2007; Hartmann, 2003; Hund u. a., 2007a; Weißel u. a., 2007)	141
4.2	Messmöglichkeiten mit den Basis-Interfaces (Quellen: Kędzierska u. a., 2007; Hartmann, 2003; Hund u. a., 2007a; Weißel u. a., 2007)	142
4.3	Export- und Importmöglichkeiten (Quellen: Kędzierska u. a., 2007; Hund u. a., 2007a; Weißel u. a., 2007)	154

Literaturverzeichnis

- [Bader 2001] BADER, Franz (Hrsg.): *Dorn-Bader Physik 12/13 Gymnasium Sek II*. Hannover : Schroedel Verlag GmbH, 2001
- [Bernshausen 2007] BERNSHAUSEN, Henrik: *Nachweis und Identifizierung von natürlichen und künstlichen Radionukliden im Physikunterricht*. Juli 2007. – Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufe II für Physik
- [Bernshausen u. a. 2002] BERNSHAUSEN, Henrik ; AMFALDERN, Jörg ; WAGNER-RECKERTH, Gerlinde: Die Experimentellen Übungen im Fach Didaktik der Physik. In: (Bodemann, 2002)
- [Bernshausen u. a. 2006] BERNSHAUSEN, Henrik ; BODEMANN, Manfred ; VIERBÜCHER, Sabine: Computerunterstützte Messwerterfassung: LowCost oder „HighEnd“? In: (Pitton, 2006)
- [Bernshausen und Winnenburg 2005] BERNSHAUSEN, Henrik ; WINNENBURG, Wolfram: Messwerterfassung - Low-Cost Experimente in der Praxis. In: (Pitton, 2005)
- [Bernshausen und Winnenburg 2006] BERNSHAUSEN, Henrik ; WINNENBURG, Wolfram: Computerunterstützte Messwerterfassung Vergleich von Messwerterfassungssystemen. In: (Nordmeier und Oberländer, 2006)
- [Bodemann 2002] BODEMANN, Manfred (Hrsg.): *Didaktik der Physik - Aufgaben in Lehre und Forschung*. Bd. 60. Siegen : GFL, 2002. (Siegener Studien)
- [Bodemann und Wehler 1982] BODEMANN, Manfred ; WEHLER, Hermann-Josef: Die Messung von Kernstrahlung mit Geiger-Müller-Zählrohren. In: *NiU-P/C* (1982)

LITERATURVERZEICHNIS

- [Bodemann und Winnenburg 2006] BODEMANN, Manfred ; WINNENBURG, Wolfram: Herausforderung Physik – Innovationen der Lehrerbildung an der Universität Siegen. In: *bildungspezial* (2006), Juni, Nr. 1, S. 28 – 30
- [Bodemann und Winnenburg 2008] BODEMANN, Manfred ; WINNENBURG, Wolfram: Gute Lehrer braucht das Land! In: *bildungspezial* (2008), März, Nr. 1, S. 32 – 35
- [Brandt 2004] BRANDT, Reinhard: Ein Funktionsmodell zur Computertomographie. In: *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik* (2004), Nr. 82, S. 23–49
- [Brown 2008] BROWN, Matthew: *AutoStitch*. 2008. – Software zur Erstellung von Panoramabildern
- [Coach6 2007] *Coach6*. 2007. – Software zur Messdatenaufnahme und -verarbeitung
- [Coach6 2008] CMA / AMSTEL Institute (Veranst.): *Coach 6 Handbuch*. 2008. – URL <http://www.ntl.at/cma/c6/Coach-6-Handbuch.zip>
- [Deußen 2006] DEUSSEN, Christoph: Die Soundkarte als Messeingang für physikalische Experimente. (2006). – URL <http://plone.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/mess/soundkarte/deussen.htm>
- [DIN1319 1995] : *Grundlagen der Meßtechnik; Grundbegriffe*. Juni 1995
- [Gerthsen und Vogel 1993] GERTHSEN, Christian ; VOGEL, Helmut: *Physik*. 17. Auflage. Springer Verlag, 1993
- [Gervé 2004] GERVÉ, Friedrich: *Gütekriterien für die Analyse und Entwicklung von Lernsoftware für den Sachunterricht*. 2004. – URL <http://home.ph-freiburg.de/gervefr/sucomputer/analyse.htm>
- [Gougelet 2008] GOUGELET, Pierre-Emmanuel: *XnView*. 2008. – URL www.xnview.com. – Software zum Betrachten und Konvertieren von Grafikdateien
- [Hanschke und Recht 1993] HANSCHKE, Timm ; RECHT, Johannes: CASSY. In: (Schneider, 1993)

LITERATURVERZEICHNIS

- [Hartmann 1999] HARTMANN, Roland: *XLS 200*. Tübingen: , 1999. – URL www.xlsmess.de
- [Hartmann 2003] HARTMANN, Roland: *Messen mit Excel XLS 100 XLS 200*. Tübingen: , 2003
- [Hartmann 2004] HARTMANN, Roland: *XLS200XP*. 2004. – Software zur Messdatenaufnahme und -verarbeitung
- [Hartmann 2007] HARTMANN, Roland: *XLSmess*. 2007. – URL www.xlsmess.de
- [Heber 2001] HEBER, Irmgard (Hrsg.) ; ASSELBORN, W. (Hrsg.): Physikunterricht und naturwissenschaftliche Bildung – aktuelle Anforderungen / Deutscher Verein zur Förderung des mathematisch und naturwissenschaftlichen Unterrichts e. V. Mühlthal : MNU, 2001. – Forschungsbericht. – URL <http://www.mnu.de>
- [Hund 1997] HUND, Dr. M.: *Gerauchsanweisung VideoCom*. Hürth: , 8 1997. – URL <http://www.ld-didactic.com/ga/3/337/33747/33747d.pdf>
- [Hund u. a. 2007a] HUND, Dr. M. ; WIETZKE, Dr. Karl-Heinz ; HANSCHKE, Dr. T. ; BIETSCH, Dr. W. ; KRAUSE, Dr. A. ; KEMPAS, Frithjof ; GRÜNER, Christoph ; METZBAUR, Mark ; NEUMAYR, Barbara ; SEITHE, Bernd: *CASSY Lab Handbuch*. LD Didactic GmbH, Juni 2007. – URL <http://www.ld-didactic.de/software/524201.pdf>
- [Hund u. a. 2007b] HUND, Dr. M. ; WIETZKE, Dr. Karl-Heinz ; HANSCHKE, Dr. T. ; BIETSCH, Dr. W. ; KRAUSE, Dr. A. ; KEMPAS, Frithjof ; GRÜNER, Christoph ; METZBAUR, Mark ; NEUMAYR, Barbara ; SEITHE, Bernd: *Hilfe zu CASSY Lab*. Hürth: LD-Didactic GmbH (Veranst.), 2007
- [Hund 1998] HUND, Michael: VideoCom - eine einzeilige CCD-Kamera zur hochauflösenden Bewegungsaufnahme und zur Relativmessung von Intensitäten. In: (Schneider, 1998). – URL http://www.solstice.de/cms/upload/wege/band4/Wegeband_4/22-256-265/Hund-Leybold.pdf
- [Hund 2007a] HUND, Michael: *Videocom*. 2007. – URL www.ld-didactic.de. – Software zur Messdatenaufnahme und -verarbeitung mit VideoCom

LITERATURVERZEICHNIS

- [Hund 2007b] HUND, Michael: *VideoCom Online-Hilfe*. Hürth: , 2007
- [Hund und Wietzke 2007] HUND, Michael ; WIETZKE, Karl-Heinz: *CASSY Lab*. 2007. – Software zur Messdatenaufnahme und -verarbeitung
- [Kell 2002] KELL, Adolf: Was für Lehrer braucht das Land? In: (Bodemann, 2002)
- [Kersting 2002] KERSTING, Thomas: *Automatische Videoanalyse VIANA 3*. Essen: , 2002. – Hilfe zur Videoanalyse-Software Viana
- [Kersting u. a. 2004] KERSTING, Thomas ; NORDMEIER, Volkhard ; HAHN, Wilfried: *Viana*. 2004. – URL <http://didaktik.physik.uni-essen.de/viana/>. – Software zur Messdatenaufnahme durch Videoanalyse
- [Kędzierska u. a. 2007] KĘDZIERSKA, Ewa ; DORENBOS, Vincent ; HECK, André: *Guide to Coach6*. Amsterdam: CMA / AMSTEL Institute (Veranst.), 2007
- [Klinger 1991] KLINGER, Walter: Die Bedeutung allgemeindidaktischer Unterrichtsprinzipien für den Physikunterricht. In: (Schneider, 1991)
- [Kneser 2004] KNESER, Philip: Bewegungen aufzeichnen und auswerten. In: *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik* (2004), Nr. 83, S. 20–22
- [Koch 2006] KOCH, Klaus: Software zur Erfassung und Analyse eindimensionaler Bewegungsvorgänge. In: (Nordmeier und Oberländer, 2006)
- [Kremser u. a. 1997] KREMSER, E. ; SOTNIK, N. ; HEBER, J.: Computerunterstützte Messwerterfassungssysteme für den Physik-Unterricht. In: (Willer, 1997)
- [Krützer und Probst 2006] KRÜTZER, Beate ; PROBST, Heike ; BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF) (Hrsg.): *Bestandsaufnahme 2006 und Entwicklung 2001 bis 2006 – IT-Ausstattung der allgemein bildenden und berufsbildenden Schulen in Deutschland*. Berlin, 2006

LITERATURVERZEICHNIS

- [LD Didactic GmbH 2007] *Gebrauchsanweisung Bewegungsmesswandler Meßwertempfänger*. Hürth, 2007. – URL <http://www.ld-didactic.de/ga/3/337/33763/33763DE.PDF>
- [Leybold 2000] *CASSY-S*. Leybold Didactic GmbH, 2000
- [LPO 2003] MINISTERIUM FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (Hrsg.): *Ordnung der Ersten Staatsprüfungen für Lehrämter an Schulen (Lehramtsprüfungsordnung - LPO)*. 2003
- [Meyer-Bothling 2004] MEYER-BOTHLING, Claus: Bisher nicht Messbares wird messbar. In: *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik* (2004), Nr. 83, S. 16–19
- [Microsoft 2008] CORPORATION, Microsoft (Hrsg.): *Systemanforderungen für die Version 2007 Microsoft Office System*. 2008. – URL <http://office.microsoft.com/de-at/help/HA101668651031.aspx>. – Zugriffsdatum: 03.03.2008
- [Mioduszewska und Dorenbos 2005] MIODUSZEWSKA, Ewa ; DORENBOS, Vincent: *CoachLab II+ Interface User's Manual*. Amsterdam: CMA / Amstel Institute (Veranst.), 2005
- [MSWF 1999] *Sicherheit im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht an allgemeinbildenden Schulen*. Ritterbach Verlag, 1999. – Herausgegeben vom Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes NRW
- [Nordmeier 2002] NORDMEIER, Volkhard (Hrsg.): *Didaktik der Physik. Beiträge zur Frühjahrstagung der DPG - Leipzig 2002*. Berlin : Lehmanns Media, 2002
- [Nordmeier 2003] NORDMEIER, Volkhard: Messwerterfassung - „easy“ und ‘low-cost’. In: (Pitton, 2003)
- [Nordmeier 2004] NORDMEIER, Volkhard (Hrsg.): *Didaktik der Physik. Beiträge zur Frühjahrstagung der DPG - Düsseldorf 2004*. Berlin : Lehmanns Media, 2004
- [Nordmeier und Meßmer 1997] NORDMEIER, Volkhard ; MESSMER, Matthias: Messwerterfassung - ‘low-cost’- Physik mit der Soundkarte. In: (Willer, 1997)

LITERATURVERZEICHNIS

- [Nordmeier und Oberländer 2005] NORDMEIER, Volkhard (Hrsg.) ; OBERLÄNDER, Arne (Hrsg.): *Didaktik der Physik. Beiträge zur Frühjahrstagung der DPG - Berlin 2005*. Berlin : Lehmanns Media, 2005
- [Nordmeier und Oberländer 2006] NORDMEIER, Volkhard (Hrsg.) ; OBERLÄNDER, Arne (Hrsg.): *Didaktik der Physik. Beiträge zur Frühjahrstagung der DPG - Kassel 2006*. Berlin : Lehmanns Media, 2006
- [Philips 2003] *e-Manual*, 2003. – Philips-USB-Web-Kamera Elektronisches Benutzerhandbuch
- [Phywe 2007a] *Cobra3-Basic-Unit*. 2007. – Betriebsanleitung
- [Phywe 2007b] *Cobra3 Messmodul Funktionsgenerator*. 2007. – URL <http://www.phywe.de/download/products/1215004d.pdf>. – Betriebsanleitung
- [Phywe 2007c] *Cobra3-Messmodulkonverter*. 2007. – URL <http://www.phywe.de/download/products/1215004d.pdf>. – Betriebsanleitung
- [Phywe 2007d] *Computerunterstütztes Experimentieren mit Cobra3*. 2007. – URL http://www.phywe.de/download/prospekt/Cobra_Ueberblick_d_oP.pdf. – Übersicht der verfügbaren Module, Sensoren und Software für das Cobra3-System
- [Phywe 2007e] *measure*. 2007. – Kurzhandbuch
- [Pitton 2003] PITTON, Anja (Hrsg.) ; Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (Veranst.): *Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie*. Berlin and Hamburg and Münster : Lit, 2003. (Jahrestagung der GDGP)
- [Pitton 2005] PITTON, Anja (Hrsg.) ; Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (Veranst.): *Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung*. Münster : Lit, 2005. (Jahrestagung der GDGP)
- [Pitton 2006] PITTON, Anja (Hrsg.) ; Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (Veranst.): *Lehren und Lernen mit neuen Medien*. Berlin : Lit, 2006. (Jahrestagung der GDGP)

LITERATURVERZEICHNIS

- [Pohlmann 2002] POHLMANN, Dietrich (Hrsg.) ; CAMPO, Arnold a (Hrsg.): Empfehlungen zum Computer-Einsatz im mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht an allgemein bildenden Schulen / Deutscher Verein zur Förderung des mathematisch und naturwissenschaftlichen Unterrichts e. V. Bad Honnef : MNU, 2002. – Forschungsbericht. – URL <http://www.mnu.de>
- [Roth 1996] ROTH, Jürgen: *Interferenz an Spalt und Gitter - Computergestützte Betrachtungen unter Einbeziehung von Feynman-Pfeiladdition.* 1996. – URL http://www.juergen-roth.de/veroeffentlichungen/interferenz_an_spalt_und_gitter/roth_interferenz_an_spalt_und_gitter.pdf. – Eine Unterrichtseinheit für Grund- und Leistungskurse. Schriftliche Hausarbeit
- [Saxler 1979] SAXLER, Josef: Das physikalische Experiment unter didaktischem Aspekt. In: *NiU-P/C* (1979), Nr. 27
- [Schneider 1991] SCHNEIDER, Werner B. (Hrsg.): *Wege in der Physikdidaktik.* Erlangen : Palm & Enke, 1991 (Band 2)
- [Schneider 1993] SCHNEIDER, Werner B. (Hrsg.): *Wege in der Physikdidaktik.* Erlangen : Palm & Enke, 1993 (Band 3)
- [Schneider 1998] SCHNEIDER, Werner B. (Hrsg.): *Wege in der Physikdidaktik.* Erlangen : Palm & Enke, 1998 (Band 4)
- [Schwarz und Melcher 2004] SCHWARZ, Oliver ; MELCHER, Horst: Der Stoß metallische Körper. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik* (2004), Nr. 53, S. 26–30
- [Schwarz und Vogt 2004] SCHWARZ, Oliver ; VOGT, Patrik: Akustische Messungen an springenden Bällen. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik* (2004), Nr. 53, S. 22–25
- [Schwarz und Walther 2005] SCHWARZ, Oliver ; WALTHER, Alexander: Nachweisgrenzen für die Bestimmung der Ortsveränderlichkeit der Fallbeschleunigung mit Schulmitteln. In: (Nordmeier und Oberländer, 2006)

LITERATURVERZEICHNIS

- [Schwarze 2004] SCHWARZE, Heiner: Induktion elementar mit stückweise linearen Änderungen. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule* (2004), S. 8–13
- [Tecpel] *TECPEL MODEL DMM8060/8061 MANUAL*
- [Tipler u. a. 2006] TIPLER, Paul A. ; MOSCA, Gene ; PELTE, Dietrich: *Physik. Für Wissenschaftler und Ingenieure*. Spektrum Akademischer Verlag, 2006. – ISBN 3827411645
- [Universität Siegen 2005] UNIVERSITÄT SIEGEN (Hrsg.): *Modulhandbuch der Lehramtsstudiengänge im Fachbereich Physik*. 2005. – URL <http://cip-lxw.physik.uni-siegen.de/didaktik/ordnung/handbuch.pdf>
- [Universität Siegen 2007] REKTORAT DER UNIVERSITÄT SIEGEN (Hrsg.): *Studienordnung – Fachspezifische Bedingungen für das Fach Physik für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen an der Universität Siegen*. 2007
- [Vogt u. a. 2004] VOGT, Patrik ; SCHWARZ, Oliver ; WALTHER, Alexander: Doppler-Messungen am Mikrofonpendel. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik* (2004), Nr. 53, S. 8–10
- [Weißel u. a. 2007] WEISSEL, Florian ; BLOCK, Tobias ; GROTE, Hans Henning H. de ; SPÖRING, Uwe ; SCHUBERT, Lucas A.: *Measure*. 2007. – Software zur Messdatenaufnahme und -verarbeitung
- [Wilhelm 2006] WILHELM, Thomas: Zweidimensionale Bewegungen - Vergleich von vier verschiedenen Möglichkeiten der Messwerterfassung und Evaluationsergebnisse eines Unterrichtseinsatzes. In: (Nordmeier und Oberländer, 2006)
- [Wilhelm und Gröber 2006] WILHELM, Thomas ; GRÖBER, Sebastian: Empirische Erhebung zum Einsatz Neuer Medien bei Physik-Gymnasiallehrern in Rheinland-Pfalz: Arbeitsplatzausstattung und Mediennutzung. In: (Nordmeier und Oberländer, 2006)
- [Wilhelm und Heuer 2002] WILHELM, Thomas ; HEUER, Dieter: Förderung von Verständnis in der Mechanik durch den Einsatz neuer Darstellungen physikalischen Wissens am Computer. In: (Nordmeier, 2002)

LITERATURVERZEICHNIS

- [Wilhelm und Heuer 2004] WILHELM, Thomas ; HEUER, Dieter: Experimente zum dritten Newton'schen Gesetz. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik* (2004), Nr. 53, S. 17–22
- [Wilhelm u. a. 2004a] WILHELM, Thomas ; HEUER, Dieter ; GESSNER, Thomas: Neue Impulse für die Lehrerfortbildung. In: (Nordmeier, 2004)
- [Wilhelm u. a. 2003] WILHELM, Thomas ; HEUER, Dieter ; GESSNER, Thomas ; SULEDER, Michael: Sportaktivitäten vielseitig analysieren und modellieren - Video und Messdaten multimedial aufbereitet. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule* 53 (2003), Nr. 2, S. 23–30
- [Wilhelm u. a. 2002] WILHELM, Thomas ; HEUER, Dieter ; SCHMIDT, Michael: Die Maus als Bewegungssensor. Kinematik und Dynamik in der Sekundarstufe mit Hilfe des Computers. In: *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik* (2002), Nr. 69, S. 31–33
- [Wilhelm u. a. 2004b] WILHELM, Thomas ; HEUER, Dieter ; SULEDER, Michael: Neue Möglichkeiten durch Kombination von Videoanalyse und Modellbildung. In: (Nordmeier, 2004)
- [Wilke 1993a] WILKE, Hans-Joachim: Physikalische Schülerexperimente – Vorzüge, Erfahrungen und Probleme. In: *NiU-Physik* (1993), Nr. 18
- [Wilke 1993b] WILKE, Hans-Joachim: Zur Bedeutung des Experiments für den Physikunterricht. In: *NiU-Physik* (1993), Nr. 18, S. 4–7
- [Wilke 2004] WILKE, Hans-Joachim: Vom Experiment zum Gesetz. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik* (2004), Nr. 53, S. 11–16
- [Willer 1997] WILLER, Jörg (Hrsg.): *Didaktik der Physik. Vorträge Physiker-tagung Berlin*. Berlin, 1997