

Anwendung der Konzepte des „Karlsruher Physikkurses“ für die Physikausbildung im Ingenieurstudium an Fachhochschulen

Projektleiter

Prof. Dr. Ulrich Hahn

Zeitraum

2004

Förderung

Fachhochschule
Dortmund,
Forschungssemester

Kontakt

Prof. Dr. Ulrich Hahn
Fachbereich
Informations- und
Elektrotechnik,
Fachhochschule
Dortmund,
Sonnenstraße 96,
44139 Dortmund,
Telefon:
(0231) 9112-370,
E-Mail: hahn@
fh-dortmund.de

Kurzfassung

Der Begriffsapparat der Naturwissenschaft Physik umfasst eine immense Zahl von physikalischen Größen, deren Bedeutung und Zusammenhang vielen Studierenden der Ingenieurwissenschaften Schwierigkeiten bereitet. Hier setzt der „Karlsruher Physikkurs“ (KPK) an, der in den 1990er Jahren sowohl für die Ausbildung von Physikern als auch als fachdidaktischer Beitrag für den Physikunterricht an Gymnasien entwickelt wurde. Physikalische Größen werden in folgende Basis-kategorien eingeteilt: mengenartige Größen und ihre Ströme, intensive Größen und Kapazitäten. Die Größe „Energie“ bzw. „Energiestrom“ nimmt eine zentrale Position in der Begriffswelt des KPK ein: Energie ist an einen „Träger“ gebunden, durch den sie transportiert wird (strömt). Dieser Trägerstrom, multipliziert mit einer mit diesem „konjugierten“ intensiven Größe ergibt den Energiestrom. Ziel des Vorhabens war es, zu prüfen, wie sich diese Konzepte für die Physikausbildung in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen an Fachhochschulen umsetzen lassen, wobei die „Schnittstellen“ zu den anderen Fächern der betreffenden Studiengänge besonders beachtet werden müssen.

Motivation für das Vorhaben

Physik ist ein Grundlagenfach in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen, das in den ersten zwei bis drei Semestern gelehrt wird. Da die Naturwissenschaft Physik die relevanten Grundlagen für die Ingenieurwissenschaften liefert, bildet das Fach Physik eine wichtige Brücke zwischen den verschiedenen technischen Grundlagen- und weiterführenden Fächern der Studiengänge. Insbesondere werden auch Grundkenntnisse vermittelt, die ein interdisziplinäres Arbeiten ermöglichen. Daher umfasst die Physikausbildung wesentlich mehr Themenbereiche als andere technische Fächer, so dass gerade in den ersten Semestern ein recht umfangreicher Begriffsapparat aufgebaut werden muss, wobei immer weniger auf Vorkenntnisse aus der Schule zurückgegriffen werden kann.

Der Karlsruher Physikkurs versucht, die Systematik physikalischer Größen deutlicher herauszuarbeiten, als es bislang in der Lehre üblich war. Speziell sollen Parallelen aufgezeigt werden, so dass unterschiedliche Sachverhalte in verschiedenen Teildisziplinen der Physik ähnlich dargestellt werden können.

Mengenartige Größen

Viele physikalische Sachverhalte können mit Hilfe von Bilanzen mengenartiger Größen be-

schrieben werden. Diese verhalten sich wie eine Flüssigkeit oder ein Gas in einem Gefäß, welches eine Systemgrenze darstellt, bezüglich der der Übertritt der mengenartigen Größe bilanziert wird. Im Gebiet innerhalb der Grenze ändert sich die Menge der Größe X (der Flüssigkeit oder des Gases) durch einen Strom der Stärke I_x oder durch einen Vorgang, bei dem X erzeugt oder vernichtet wird. Bezeichnet man die Erzeugungsrate mit K_x , so kann man für mengenartige Größen immer folgende Bilanz aufstellen:

$$\frac{dX}{dt} = I_x + K_x \quad (1)$$

Beispiele für mengenartige Größen sind Masse, Impuls, Drehimpuls in der Mechanik, Stoffmenge, Entropie in der Thermodynamik, elektrische Ladung und magnetisches Moment in der Elektrodynamik und Energie. Erzeugt werden können hier Entropie und Stoffmenge, diese kann durch chemische Reaktionen auch vernichtet werden. Die anderen Größen sind so genannte „Erhaltungsgrößen“.

Die Bedeutung von Gleichung (1) soll anhand des Impulses demonstriert werden: Üblicherweise als „unter ferner liefen“ eingeführt, um die Stoßgesetze zu begründen, dient er im KPK als zentrale Größe, die Bewegungs- und Objekteigenschaften vereinigt. Da Impuls nicht erzeugt oder vernichtet werden kann, ist eine Impulsänderung für ein System (ein Körper) nur durch einen Impulsstrom über die Systemgrenze möglich. Dem zweiten Newtonschen Axiom zufolge wird der Impuls eines Objektes durch Kräfte geändert, daher entspricht die Kraft einem Impulsstrom. Damit erklärt sich auch das dritte Newtonsche Axiom: der Impulsstrom, der die Systemgrenze überschreitet, ändert neben dem Impuls des Systems auch den Impuls der Umgebung, d. h. alles, was nicht zum System gehört, insbesondere ändert sich auch der Impuls eines zweiten Objektes, das über eine „Impulsstromleitung“, z. B. eine Stange oder ein Seil mit dem System in Kontakt ist. So kann auch der Einfluss von Kräften auf mehrere Körper durch die entsprechenden Ströme, die sich u. U. auch verzweigen können, verhältnismäßig anschaulich beschrieben werden.

Der Impuls $\vec{p} = m\vec{v}$ beinhaltet sowohl Objekt- als auch Bewegungseigenschaften. Letztere werden durch die Geschwindigkeit \vec{v} beschrieben. Sie ist eine „intensive“ Größe, die keine Mengeneigenschaften aufweist: Ein Zug, der mit 80 km/h fährt, hat die gleiche Geschwindigkeit wie ein Motorrad

bei 80 km/h. Werden bei dem Zug während der Fahrt die letzten Wagen abgekoppelt, so ändert sich (bei Reibungsfreiheit) die Geschwindigkeit nicht. Die Mengenartigkeit des Impulses wird durch die Masse m des Objektes bewirkt. Wird die Masse bei gleicher Geschwindigkeit geändert, so ändert sich der Impuls, es wirkt eine Kraft. Dies ist z. B. das Wirkungsprinzip von Raketen. Die Masse bezeichnet man auch als „Impulskapazität“, die Impulsaufnahmefähigkeit des Objektes. In der Elektrodynamik ist der Begriff „Kapazität“ verbreiteter: Ein Kondensator mit der Kapazität C nimmt Ladung Q auf unter dem Einfluss einer elektrischen Spannung U , $Q = CU$.

Energie und Energieträger

Energie ist eine mengenartige Größe, die in allen Gebieten der Physik verwendet wird. Jeder Energiestrom (Leistung = Energiestromstärke) kann folgendermaßen dargestellt werden:

$$\frac{dE}{dt} = P = yI_x \quad (2)$$

Dabei ist I_x die Stromstärke einer mengenartigen Größe und y die dazu „energiekonjugierte“ intensive Größe. Beispiele für Gleichung(2) sind $P = \vec{v} \cdot \vec{F}$, $P = UI$, $P = TI_s$, $P = \mu I_n$ mit v : Geschwindigkeit, F : Kraft, U : elektrische Spannung, I : elektrischer (Ladungs)strom, T : absolute Temperatur, I_s : Entropiestrom, μ : chemisches Potential, I_n : Stoffstrom. Neben der Energie strömt immer eine weitere mengenartige Größe, der „Energieträger“, Impuls, Ladung, Entropie und Materie. Maschinen sind „Energiekonverter“, in denen die Energie den Träger wechselt, z. B. in einem Verbrennungsmotor wechselt die Energie vom Kraftstoff zum Impuls und Entropie.

Die Bedeutung der energiekonjugierten Größe y liegt in ihrer Eigenschaft als „treibende Kraft“ für einen Energiestrom. Gibt es bei zwei Systemen, zwischen denen Energie strömen kann, Unterschiede in y , so strömt Energie und ihr Träger so lange, bis die Unterschiede in y ausgeglichen sind. Wechselt ein Teil der Energie auf den Träger Entropie, so weist der Leiter, über den die Energie von einem System in das andere gelangt, einen „Widerstand“ auf. Ein Beispiel ist der Ohmsche Widerstand in der Elektrodynamik.

Umsetzung des Konzeptes

Üblicherweise werden in den Physikkursen der ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge folgende Teilgebiete behandelt: Mechanik, Thermodynamik, Schwingungen und Wellen, ggf. mit

Anwendungen in der Akustik, Elektrodynamik und Optik. In elektrotechnisch orientierten Studiengängen wird in der Regel die Elektrodynamik, in maschinenbaulich orientierten Studiengängen Thermodynamik ausgelassen bzw. sehr reduziert, da sie in anderen Grundlagenfächern vermittelt werden. Mechanik kann „ausgedünnt“ werden, wenn ein Fach „technische Mechanik“ im Curriculum vorgesehen ist.

Der in diesem Vorhaben entwickelte Kurs soll die Physikausbildung möglichst aller ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge abdecken und umfasst daher alle oben aufgelisteten Teilgebiete. In dem Kurs nicht behandelt werden Atom-, Festkörper und Kernphysik mit den quantenphysikalischen Grundlagen sowie relativistische Physik. Letztere wird in anderen Lehrbüchern¹ so verkürzt dargestellt, dass Missverständnisse und Fehlinterpretationen vorprogrammiert sind. Derzeit ist das Verständnis der Relativitätstheorie nur für wenige technische Fragestellungen relevant. Hier sei auf Spezialliteratur² verwiesen. Atom- und Festkörperphysik sind insbesondere für das Verständnis von Werkstoffen von Bedeutung und werden am besten in diesen Fächern als Grundlage vermittelt. Ergänzend hinzugefügt wurde ein Kapitel „Auswertung von Messdaten“, da sich gezeigt hat, dass Studierende sehr häufig bei der Durchführung von Praktikumsversuchen Probleme mit dem methodischen Vorgehen bei der Auswertung und der sinnvollen Interpretation der Ergebnisse haben.

Im Kapitel „Mechanik“ sind die Konzepte des KPK weitgehend eingeflossen, allerdings wurde die Dynamik starrer Körper „konventionell“ dargestellt, da Bilanzgleichungen (1) für physikalische Größen, die über Vektorprodukte miteinander verkoppelt sind, sehr unanschaulich werden. Bei der Thermodynamik weicht die Einführung der Entropie im KPK sehr stark von der „typischen Einführung“³ ab. Sie wird synonym für den Begriff „Wärmemenge“ verwendet, im Gegensatz zur konventionellen Thermodynamik, wo mit Wärmemenge thermische Energie aus ungeordneter Bewegung von Atomen bzw. Molekülen gemeint ist, die durch die Wärmetransportmechanismen Konvektion, Wärmeleitung oder elektromagnetische Strahlung über die Bilanzgrenze eines thermodynamischen Systems gelangt. Um die Kompatibilität zu anderen Fächern zu wahren, wurde die konventionelle Begrifflichkeit beibehalten. Allerdings konnten einige Ideen zur Entwertung von Energie durch irreversible Prozesse aufgegriffen werden. Im Kapitel „Elektrizität und Magnetismus“ werden z. B. elektrische Spannung

1) z. B. Hering, Martin, Stohrer, Physik für Ingenieure, Springer Verlag 1999
Lindner, Physik für Ingenieure, Fachbuchverlag 1993

2) Born, Die Relativitätstheorie Einsteins, Springer Verlag 1969

3) Baehr, Thermodynamik, Springer Verlag 1988

und chemisches Potential mit Hilfe von Gleichung (2) eingeführt. Die Funktionsweisen von Energiekonvertern werden ebenfalls mit dieser Gleichung erläutert, wobei die Entropieerzeugung durch Irreversibilität problemlos quantifiziert werden kann. In der Optik schließlich erleichtern mengenartige Größen die Diskussion des Photonenbegriffes und strahlungsphysikalischer Größen.

Die Stoffauswahl und der Umfang der einzelnen Kapitel gehen über den Stoffumfang, der in einer zwei- bis dreisemestrigen Grundlagenveranstaltung vermittelt werden kann, hinaus. Den Studierenden wird Gelegenheit geboten, sich weitere Kenntnisse anzueignen, wobei insbesondere zahlreiche Anknüpfungspunkte zu technischen Grundlagen- und Spezialfächern angelegt werden. So wird z. B. in der Thermodynamik auf offene Systeme und in der Elektrodynamik auf Drehstromsysteme, elektrische Maschinen und elektromagnetische Wellen eingegangen.

Eine wichtige Frage bei der Konzeption des Physikkurses sind die mathematischen Kenntnisse, die zum Verständnis des Stoffes vorausgesetzt werden können. Im KPK wird ein Stand der mathematischen Kenntnisse, wie er im universitären Physikstudiengang Standard ist, vorausgesetzt, insbesondere Vektoranalysis und Tensorrechnung. Für das Verständnis des Stoffes des im Rahmen dieses Vorhabens entwickelten Physikkurses ist dagegen nur die Beherrschung von Differential- und Integralrechnung sowie Vektorrechnung erforderlich. Auf besondere Erweiterungen wie Volumenintegrale, Integrale zur Berechnung von Flüssen, wie sie bei Gleichung (1) erforderlich

werden können, sowie den Begriff „Gradient“ wird ausführlich eingegangen.

Zukunft des Vorhabens

Zum Ende des Forschungsfreisemesters waren die Kapitel „Mechanik“, „Thermodynamik“, „Schwingungen und Wellen“ sowie Teile von „Elektrizität und Magnetismus“ fertiggestellt. Im darauf folgenden Semester ist dieses Kapitel vollendet sowie die Kapitel „Optik“ und „Auswertung von Messdaten“ verfasst worden. Der Kurs wird als Buch im Oldenbourg Verlag, dem an dieser Stelle für die Kooperation gedankt werden soll, im WS 2005/2006 erscheinen. Angestrebt wird auch noch die Ausarbeitung der Themengebiete Atom- und Festkörperphysik mit besonderer Berücksichtigung werkstoffkundlicher Belange. Eine Aufgabensammlung zur Ergänzung des Selbststudiums sollte ebenfalls erstellt werden.

Einfluss der Forschungsergebnisse auf die Lehre

Das Kurskonzept ist in der Lehrveranstaltung Physik I (Mechanik) im WS 2003/2004 erprobt worden mit zufrieden stellenden Ergebnissen. Durch die Analogien in der Begriffsbildung konnte der Stoff ohne Qualitätsverluste gestrafft dargestellt werden, wodurch Zeit für die Behandlung weiterer Themengebiete gewonnen wurde. Eine vollständige Umsetzung wird mit dem WS 2005/2006 erfolgen.

Weiterhin wird das Konzept im „Arbeitskreis Physik in den Ingenieurwissenschaften“ des Zentrums für hochschuldidaktische Weiterbildung der Fachhochschulen in NRW diskutiert und ggfs. auch an anderen Fachhochschulen angewandt.