Burkhard ALPERS, Aalen

Wie können Ingenieurstudenten Mathematik als relevant erfahren?

Einleitung

Ingenieurstudenten sind ganz wesentlich am „Nutzwert“ der Mathematikausbildung interessiert (Harris et al. 2015), weshalb sie auch die bekannte Frage stellen, wo man die behandelte Mathematik gebrauchen kann. Diese Frage spielt aber auch eine wichtige Rolle, wenn man wie im SEFI Dokument (Alpers et al. 2013) das Konzept der mathematischen Kompetenz zur Erfassung der zentralen Ziele der Mathematikausbildung zugrunde legt, da dieses die Fähigkeit beinhaltet, Mathematik in relevanten Kontexten und Situationen verständig und zielführend zur Problemlösung einzusetzen. Dementsprechend sollte die Mathematikausbildung Lerngelegenheiten bezüglich dieser Zielsetzung anbieten, die den Ingenieurstudenten dann gleichzeitig Relevanzerfahrungen ermöglichen. In diesem Beitrag wird ein Konzept zur Verzahnung von Mathematik und Anwendungsfächern vorgestellt, das solche Lerngelegenheiten beinhaltet. Dazu wird im nächsten Abschnitt auf die grundlegende Frage eingegangen, wie man überhaupt die Nutzungskontexte der Mathematik in einem Ingenieurstudiengang ermitteln kann. Darauf aufbauend werden im Rahmen der klassischen Ausbildungsszenarien (Vorlesung, Übung, Projektarbeit) Lerngelegenheiten identifiziert und erläutert. Erfahrungen aus eigener Umsetzung und der Literatur schließen den Beitrag ab.

Ermittlung der Mathematikrelevanz

Will man die Relevanz der Mathematik für Ingenieurstudenten erfahrbar machen, so muss man zunächst relevante Nutzungskontexte und -arten in den Anwendungsfächern des jeweiligen Studiengangs eruieren. Dazu liegen nur wenige Untersuchungen vor (Alpers 2020a,b; Hochmuth & Schreiber 2016), die aber bereits zeigen, dass eine einfache Vorstellung von „Nutzung der Mathematik“ der Realität nicht gerecht wird. Es gibt Unterschiede in den Konzepten, Notationen und Praktiken, die dazu führen können, dass die Studenten die Mathematikausbildung als schlecht integriert erfahren. Es ist daher zu empfehlen, die als besonders „mathematikhaltig“ bekannten Anwendungsfächer (im Maschinenbau etwa die Technische Mechanik) anhand von Lehrbüchern oder Vorlesungsskripten auf mathematische Themen, Notationen und Arten der Nutzung hin zu untersuchen, um eine fundiertere Vorstellung zu entwickeln. Für den praktisch Lehrenden ist dies natürlich eine umfangreiche Aufgabe, die – wie beim Autor dieses Beitrags – eher in einem Zeitraum von Jahren zu besserem Verständnis führt. Andererseits sollte dies aber auch ein wichtiges Thema der Forschung zur Mathematikdidaktik für Ingenieure sein. Folgendes Beispiel kann die Wichtigkeit illustrieren: Während in der Mathematikausbildung an Fachhochschulen wie in der Schule der Begriff des (anschaulich „definierten“)

In: Kerstin Hein, Cathleen Heil, Silke Ruwisch & Susanne Prediger (Hrsg.). Beiträge zum Mathematikunterricht 2021. Münster: WTM Verlag. https://doi.org/10.37626/GA9783959871846.0
Online unter https://eldorado.tu-dortmund.de/handle/2003/30630

freien Vektors benutzt wird, arbeitet die Technische Mechanik mit gebundenen Vektoren. Im Rahmen einer integrierten Ausbildung sollte den Studenten der Zusammenhang verdeutlicht werden, worauf im nächsten Abschnitt kurz eingegangen wird. Neben der Theorieentwicklung in Anwendungsfächern sind die mathematikhaltigen Aufgaben wichtig, mit denen die Studenten auch in Klausuren konfrontiert sind (Elektrotechnik: Kortemeyer 2019; Statik: Alpers 2017). Hier zeigt sich, was zum Bestehen wirklich von ihnen erwartet wird. Im realen Ingenieursalltag sind viele Berechnungen bereits in Programmen wie z.B. CAD- oder Mehrkörpersimulationsprogrammen implementiert. Daher ist eine Untersuchung sinnvoll, welche mathematischen Kompetenzen zur verständigen und effizienten Nutzung solcher Programme notwendig sind. Für den praktisch Lehrenden ist eine Beobachtung hilfreich, wie Studenten Standardaufgaben mit Hilfe solcher Programme erledigen (vgl. Alpers 2021). Darüber hinaus kann auch ein Rundgang durch die Labore der Anwendungskollegen mit den dortigen Objekten und Prüfständen informativ und anregend für die Formulierung mathematikhaltiger Aufgaben und Projekte sein. Richtlinien aus der Industrie, wie sie vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) für praktizierende Ingenieure herausgegeben werden, liefern ebenfalls interessante Beispiel für die Mathematiknutzung. Der Verfasser ist in die VDI-Richtlinienarbeit zum Bewegungsdesign involviert und nutzt dies zur Formulierung zahlreicher Projekte. Schließlich sind auch noch in der Industrie angefertigte Praxissemesterberichte und Bachelorarbeiten als mögliche Quellen zu nennen.

Konzept zur Ermöglichung von Relevanzerfahrung

Mit den so gewonnenen Erkenntnissen zur Mathematikrelevanz kann man als Lehrender eine bessere Vorstellung von sinnvollen Inhalten und Zielen der Mathematikausbildung im betreffenden Studiengang entwickeln und darauf basierend den Studenten Relevanz verdeutlichende Lerngelegenheiten anbieten. In der klassischen Vorlesung kann man zum einen die Einführung mathematischer Konzepte und Verfahren anwendungstechnisch motivieren und zum anderen mögliche Diskrepanzen direkt adressieren. So kann man z.B. den Sinn der Betrachtung von Fourierreihen wie folgt verdeutlichen: Jedes schwingungsfähige System wie ein Feder-Masse-System hat eine Eigenschwingfrequenz. Wird es mit dieser angeregt, kommt es zur unerwünschten Resonanz. Wird das System nun (etwa durch einen Antriebsmotor) mit einer periodischen Funktion angeregt, so zerlegt man diese in sinusförmige Anteile, um zu sehen, ob nahe der Eigenfrequenz mit hoher Amplitude angeregt wird. Diese kurzen Ausführungen zeigen, dass eine Anwendungsmotivierung die Zeitressourcen nicht sonderlich zu beanspruchen braucht. Bezüglich der angesprochenen Diskrepanzen zwischen Mathematik und Anwendungsfach kann man z.B. bei den gebundenen Vektoren darauf hinweisen, dass in der Mechanik wie in der Mathematik zunächst „frei“ gerechnet wird und erst im letzten Schritt der Vektor noch auf der richtigen Wirkungslinie zu platzieren ist.

Nun können zwar Vorlesungen mathematische Konzepte und Verfahren motivieren und in Kontext setzen, aber zur Entwicklung mathematischer Kompetenz ist der eigene Umgang im Rahmen von Aufgaben, Problemen und Projekten ganz wesentlich. Zur Einbindung anwendungsrelevanter Aufgaben in wöchentliche mathematische Übungsblätter hat Wolf (2017) ein Konzept vorgestellt und untersucht. Die Aufgaben sollten u.a. einen authentischen Anwendungsbezug haben und ein Hin- und Hergehen zwischen Mathematik und Anwendungskontext erfordern, wie dies aus dem Modellierungszyklus bekannt ist. Der Verfasser setzt vielfach Aufgaben ein, die einen bewegungstechnischen Hintergrund haben (etwa die Bewegung eines Schiebers in einer Verpackungsmaschine als stückweise definierte stetige und glatte Funktion) oder die mathematische Repräsentationen in Anwendungsbüchern nutzen (etwa eine Kurvenschar als eingeschränkte Darstellung einer Funktion von zwei Variablen, mit der aber näherungsweise graphisch Werte ermittelt werden können).

Neben solchen Aufgaben kann man die Verbindung zwischen Mathematik und Anwendung auch durch Kleinprojekte im 1./2. Semester verdeutlichen, die gleichzeitig in die Nutzung eines Mathematikprogramms wie Matlab ® einführen. So lässt der Verfasser die Erstsemester ein Stabfachwerk (Thema in der Statik) konstruieren, im Labor bauen, bezüglich der Stabkräfte eine Messung durchführen und diese rechnerisch in Matlab bestätigen (LGS). Die Studenten können dabei auch erfahren, dass den mathematischen Lösungstypen (keine, eine oder unendlich viele Lösungen) statische Gegebenheiten entsprechen (Bestimmtheit).

Neben den verbindlichen Kleinprojekten, bei denen der Rahmen doch klar vorgegeben ist, ermöglichen „mittlere“ Anwendungsprojekte nach der unmittelbaren Grundausbildung, also etwa im dritten Semester, eine noch realistischere Erfahrung der Mathematiknutzung im Ingenieuralltag (Alpers 2002). Hierfür verwendet der Verfasser Problemstellungen aus der Mechanik, Maschinenelementberechnung, dem Reverse Engineering (Flächenrückführung) und der Bewegungstechnik und nutzt dabei die Gegebenheiten (Objekte, Prüfstande) aus den Laboren des Maschinenbaustudienganges. Bei den Projekten müssen sich die Studenten zunächst einmal über die Aufgabenstellung klar werden und dann das zugrunde liegende mathematische Problem formulieren und mit Matlab® bearbeiten. Dazu ist häufig die Kommunikation mit dem Verfasser erforderlich, der sinnvolle Vorgehensweisen mit den Studenten insbesondere bei der Bewältigung von Problemen diskutiert (z.B. systematische Fehlerfindung). Für den Erfolg und die Akzeptanz ist eine intensive und damit natürlich auch zeitaufwändige Betreuung unerlässlich. In ähnlicher Weise kann man auch größere Projekte etwa im Rahmen einer Studienarbeit anbieten. So hat der Verfasser, angeregt von einer Aufgabe von Wolf, von einer Studentengruppe eine Laservorrichtung bauen lassen, mit der über einen drehbaren Spiegel ein Laserstrahl auf einem Blatt platziert werden kann (Wolf 2017). Dazu war ein Berechnungsblatt für die einzustellenden Drehwinkel bei Vorgabe des Auftreffpunktes (und vice versa) zu erstellen.

Erfahrungen

Wolf (2017) bestätigt in seiner Untersuchung die positive Reaktion der Studenten, stellt aber auch fest, dass die Prüfungsrelevanz der Anwendungsaufgaben einen wesentlichen Einfluss hat. Ferner sieht er Probleme bei der mangelnden Konstanz der Lehrenden. Die Untersuchung von Schmitz & Ostsieker (2020) legt nahe, dass insbesondere Anwendungsaufgaben aus dem eigenen Bereich auf hohe Akzeptanz stoßen. Die eigene „anekdotische Evidenz“ des Verfassers beinhaltet ebenfalls eine hohe Anerkennung der Sinnhaftigkeit der Mathematikausbildung im Maschinenbaustudiengang, abgesehen von jenen Studenten, denen generell (nicht nur mathematikspezifisch) die Studienmotivation fehlt.

Literatur

Alpers, B. (2002). Mathematical application projects for mechanical engineers – concept, guidelines and examples. Borovcnik, M. & Kautschitsch, H. (Eds.). Technology in Mathematics Teaching. Proc. ICTMT 5 (S. 393-396). Wien: öbv&hpt.

Alpers, B. et al. (2013). A framework for mathematics curricula in engineering education. Brussels: SEFI.

Alpers, B. (2017). The mathematical modelling competencies required for solving engineering statics assignments. In: Stillman, G.A. et al. (Eds.). Mathematical Modelling and Applications – Crossing and Researching Boundaries in Mathematics Education (S. 189-199). Cham: Springer.

Alpers, B. (2020a). Mathematics as a service subject at the tertiary level. A State-of-the-Art Report for the Mathematics Interest Group. Brussels: SEFI.

Alpers, B. (2020b). Mathematisches Argumentieren in der Theorieentwicklung der Technischen Mechanik. In: Siller, H.-S., Weigel, W. & Worler, J. F. (Hrsg.). Beiträge zum Mathematikunterricht 2020 (S. 65-68). Münster: WTM-Verlag.

Alpers, B. (2021). Making sense of engineering workplace mathematics to inform engineering mathematics education. A Report for the Mathematics Interest Group. Brussels: SEFI.

Harris, D., Black, L., Hernandez-Martinez, P., Pepin, B. & Williams, J., TransMaths Team (2015). Mathematics and its value for engineering students: what are the implications for teaching? *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 46(3), 321-336.

Hochmuth, R. & Schreiber, S. (2016). Überlegungen zur Konzeptualisierung mathematischer Kompetenzen im fortgeschrittenen Ingenieurwissenschaftsstudium am Beispiel der Signaltheorie. Hoppenbrock, A. et al. (Hrsg.). Lehren und Lernen von Mathematik in der Studieneingangsphase (S. 549-566). Wiesbaden: Springer.

Kortemeyer, J. (2019). Mathematische Kompetenzen in Ingenieur-Grundlagenfächern. Analysen zu exemplarischen Aufgaben aus dem ersten Jahr in der Elektrotechnik. Wiesbaden: Springer.

Schmitz, A. & Ostsieker, L. (2020). Konzeption und Akzeptanz ingenieurwissenschaftlicher Anwendungen in Mathematikvorlesungen. In: Siller, H.-S., Weigel, W. & Worler, J. F. (Hrsg.). Beiträge zum Mathematikunterricht 2020 (S. 825-828). Münster: WTM-Verlag.

Wolf, P. (2017). Anwendungsorientierte Aufgaben für Mathematikveranstaltungen der Ingenieurstudiengänge. Wiesbaden: Springer.