

# Wissenskonstruktion

Durch aktivierende Lehre nachhaltiges  
Verständnis in MINT-Fächern fördern



# Impressum

Schriften zur Didaktik in den Ingenieurwissenschaften Nr. 4

2. überarbeitete Auflage, Hamburg 2019

## Herausgeber

Zentrum für Lehre und Lernen (ZLL)

hier: Abteilung für Fachdidaktik  
der Ingenieurwissenschaften

Christian H. Kautz

www.tuhh.de/fachdidaktik

Technische Universität Hamburg (TUHH)

Am Schwarzenberg-Campus 3 (E)

21073 Hamburg

## Layout, Satz und Gestaltung

Viktoria Constanze Schneider

## Titelbild

Viktoria Constanze Schneider

## Bildnachweis

Michael Pulczynski, S. 7; Andrea Brose, S. 10; DiZ/  
Christian Kautz, S. 12, 18, 26, 32; Franz Waldherr,  
S. 16, 24, 40; Dion Timmermann, S. 21; Claudia  
Walter, S. 25.



## In dieser Reihe bereits erschienen:



2017



2015



2014



2013

Dieses Vorhaben wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01PL16047 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren. Gemeinsames Bund-Länder-Programm für bessere Studienbedingungen und mehr Qualität in der Lehre.

# Grußwort der NORD-METALL-Stiftung

Seit vielen Jahren steht die Wirtschaft vor der Herausforderung, ihren Nachwuchs-Bedarf an Fach- und Führungskräften zu decken. Dies gilt in besonderem Maße für die Branchen der Metall- und Elektroindustrie, die von High-Tech und stetem Wandel in Forschung, Entwicklung und Produktion geprägt sind.

Zu Recht setzt die bildungspolitische Diskussion in unserem allgemeinbildenden Schulsystem an: Es gibt zu viele Schulabgängerinnen und Schulabgänger, die nicht ausreichend qualifiziert sind, um eine Ausbildung oder ein Studium zu beginnen. NORDMETALL beteiligt sich daher an zahlreichen Initiativen und Kooperationen mit Schulen und Schulverwaltungen, um die Qualifikation der Schulabgängerinnen und Schulabgänger stetig und nachhaltig zu steigern. Gerade aber wenn es um die akademische Bildung geht, greift diese Diskussion zu kurz: Um mehr akademisch ausgebildete Fachkräfte zu erhalten, müssen nicht nur mehr Schülerinnen und Schüler ein Studium beginnen, sondern sie müssen es auch erfolgreich abschließen.

Eine zentrale Rolle kommt dabei den Hochschulen selbst zu, außerdem der Qualität ihrer Lehre sowie der Fähigkeit, auch auf schwächere Studienan-

wärter adäquat einzugehen. Auch schon lange vor den vielerorts eingeleiteten Hochschulpakten und Verbesserungsinitiativen hat NORDMETALL daher jene Hochschulen unterstützt, die ihren spezifischen Handlungsbedarf erkannt haben. Dazu gehört auch das Projekt „Aktives Lernen im Ingenieurstudium“ an der Technischen Universität Hamburg (TUHH).

Bereits sehr früh konnten pragmatische und realistische Wege erprobt werden, wie einzelne Lehrveranstaltungen in der Ingenieurausbildung so strukturiert und modifiziert werden können, dass der Lernerfolg bei den Studierenden steigt und die Studienabbrecherquoten sinken.

Der vorliegende Leitfaden gibt einen abschließenden Einblick in dieses Projekt und stellt die zentralen Arbeitsergebnisse in einer Weise, die einen Transfer in andere hochschulische Lehrsituationen ermöglicht. Besonders freuen wir uns darüber, dass die Projektergebnisse auch Einzug in die Lehre der TUHH gefunden haben und sich dort im Rahmen der Qualitätsentwicklung weiter verbreiten. Wir wünschen allen Lesern eine interessante und vor allem perspektivreiche Lektüre.

Dr. Nico Fickinger  
Vorstand NORDMETALL-Stiftung

# Inhaltsverzeichnis

<b>Grußwort der NORDMETALL-Stiftung</b>	<b>3</b>	<b>5. Untersuchungsergebnisse zur Wirksamkeit der Methoden</b>	<b>39</b>
<b>1. Einführung</b>	<b>6</b>	5.1 Beispiel 1: Physik für Ingenieure	40
<b>2. Qualitatives Verständnis technischer Begriffe und Zusammenhänge</b>	<b>9</b>	5.2 Beispiel 2: Technische Mechanik	42
<b>3. Methoden zur Förderung von qualitativem Verständnis bei Studierenden</b>	<b>14</b>	<b>6. Fazit und Ausblick</b>	<b>45</b>
3.1 Aktivierung in Vorlesungen: Peer Instruction	15	<b>7. Literatur</b>	<b>47</b>
3.2 Fokus auf qualitative Fragestellungen und Gruppenarbeit in Übungen: Tutorials	20		
3.3 Gezieltes Nutzen der Selbstlernzeit: Just-in-Time Teaching	24		
<b>4. Häufige Fragen zum Einsatz der aktivierenden Methoden</b>	<b>30</b>		
4.1 Rollen von Lehrenden und Lernenden	30		
4.2 Lehrphilosophie und Lernziele aus fachlicher Sicht	31		
4.3 Heterogenität der Studierendenschaft	32		
4.4 Motivation und Beteiligung der Studierenden	34		
4.5 Randbedingungen von Lehrveranstaltungen	35		

# 1. Einführung

- ▶ **Lässt sich durch den Einsatz aktivierender Methoden in der Hochschullehre der Lernerfolg bei Studierenden in technischen Fächern steigern?**
- ▶ **Unter welchen Bedingungen kann dies gelingen, und wie können Ergebnisse der fachdidaktischen Forschung hierfür nutzbar gemacht werden?**

Um diesen Fragen nachzugehen, hat die NORD-METALL-Stiftung von 2008 bis 2012 das Projekt Aktives Lernen im Ingenieurstudium an der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) gefördert. Zwei besondere Aspekte zeichneten dieses Projekt von Beginn an aus: erstens die Fokussierung auf qualitatives Verständnis und zweitens die Messung des Lernerfolgs. Bezüglich des ersten Aspekts sollten gezielte Untersuchungen über das fachliche Verständnis bei den Studierenden Aufschluss darüber geben, bei welchen Inhalten die Studierenden in den ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenfächern besondere Unterstützung beim Lernen benötigen und wie diese Unterstützung sowohl in methodischer Hinsicht als auch in Bezug auf die konkreten Inhalte gestaltet werden kann. In Bezug auf den zweiten Aspekt sollte der Erfolg der eingesetzten Methoden nicht nur an der Zufriedenheit der beteiligten Studierenden, sondern auch (und vor allem) an dem erreichten Lernerfolg gemessen werden.

Die konkreten Maßnahmen des Projekts umfassten zunächst Interviews mit Studierenden zu fachlichen Inhalten, schriftliche Kurztests im Rahmen von üblichen Lehrveranstaltungen und die Analyse von bearbeiteten Klausuren. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Erhebungen wurden Materialien zur Unterstützung aktivierender Lehrformen entwickelt und in verschiedenen Lehrveranstaltungen an der TUHH eingesetzt. Mithilfe von Klausuraufgaben und standardisierten Tests wurde begleitend das qualitative Verständnis der Studierenden in den betroffenen Lehrveranstaltungen erhoben und, soweit möglich, mit entsprechenden Daten aus traditionellen Lehrformen verglichen.

Der vorliegende Leitfaden fasst eine Reihe von Erfahrungen und Ergebnissen des Projekts zusammen, die für Lehrende in den mathematischen, informationswissenschaftlichen, naturwissenschaftlichen und technischen Fächern, den so genannten MINT-Fächern, von Bedeutung sind. Er soll es ihnen ermöglichen, in ihrer eigenen Lehre

die Studierenden noch gezielter beim Lernen zu unterstützen.

Seit Beginn unseres Projektes hat sich in der Hochschullehre in Deutschland Einiges verändert. Die Förderung vieler Hochschulen aus Mitteln des Gemeinsamen Bund-Länder-Programms für bessere Studienbedingungen und mehr Qualität in der Lehre (kurz Qualitätspakt Lehre) hat viele kleine und große Innovationen in der Lehre, besonders auch in den MINT-Fächern, ermöglicht. Es wurden nicht nur bei der Umgestaltung von Lehrveranstaltungen, sondern auch bei Veränderungen in der Organisation von Studiengängen, der Betreuung von Studierenden, der Weiterqualifizierung der Lehrenden und anderen Aspekten der Hochschullehre viele Erfahrungen gesammelt. Viele der Qua-

litätspakt Lehre-Projekte haben ihre Erfahrungen in mündlichen Tagungsbeiträgen und in schriftlicher Form veröffentlicht, unter anderem auch das an der TUHH angesiedelte Projekt LEARNING<sup>TUHH</sup>, das einige der im Folgenden beschriebenen Maßnahmen aufgegriffen und weitergeführt hat.<sup>1</sup>

Es steht inzwischen also bereits einiges an Literatur über die Hochschullehre in Deutschland zur Verfügung. Diese ist in Bezug auf ihren fachlichen sowie methodischen Fokus breit gefächert, wobei der Schwerpunkt auf Fragen der Hochschulentwicklung oder der allgemeinen Hochschuldidaktik liegt. Ziel dieser Broschüre ist es deswegen, einen Beitrag aus speziell fachdidaktischer Sicht zu leisten und die beiden oben erwähnten besonderen Aspekte des Projektes in den Vordergrund zu stel-



<sup>1</sup> Siehe z. B. die Broschüre „Die Masse in Bewegung bringen“ in der Reihe „Schriften zur Didaktik in den Ingenieurwissenschaften“, Nr. 1.

len. Dabei werden den Zielen des Projekts entsprechend Veränderungen in der Lehre vor allem auf der Ebene einzelner Lehrveranstaltungen (also z. B. nicht der Studiengangsebene) betrachtet.

Im folgenden Kapitel 2 wird über die Methodik und einige Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zum fachlichen Verständnis bei den Studierenden berichtet. Kapitel 3 beschreibt dann die konkreten Lehr- bzw. Lernmethoden, die im Rahmen dieses Projektes eingesetzt wurden. Zur Illustration werden dort auch einzelne Beispiele aus speziell entwickelten Lehrmaterialien gezeigt. In Kapitel 4 wird anhand von häufigen Fragen über weitere praktische Erfahrungen beim Einsatz der Methoden berichtet, die im Rahmen des Projekts (und zum Teil darüber hinaus) gewonnen wurden. Kapitel 5 stellt abschließend einige Untersuchungsergebnisse zur Wirksamkeit der beschriebenen Methoden aus unserem Projekt vor.

Den einzelnen Kapiteln sind Fragen zur MINT-Lehre an Hochschulen vorangestellt. Diese sollen im jeweiligen Kapitel beantwortet, oder zumindest sollen Hinweise zu deren Beantwortung deutlich werden. (Eine Ausnahme bildet diese Einführung, deren einleitende Fragen als Leitfragen für die gesamte Broschüre zu verstehen sind.) Am Ende eines jeweiligen Kapitels sind weiterführende Fragen und Aufgaben angeführt, welche die Leserinnen und Leser dazu anregen sollen, den Inhalt des Kapitels gezielt auf die eigene Lehrveranstaltung zu übertragen.

Neben den Arbeiten, die im Rahmen des von der NORDMETALL-Stiftung geförderten Projekts durchgeführt wurden, also der Identifizierung von Verständnisschwierigkeiten bei Studierenden mittels Interviews, schriftlicher Tests oder Multiple-Choice-Befragungen, haben zu dieser Handreichung auch spätere Arbeiten der Abteilung für Fachdidaktik der Ingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Hamburg-Harburg beigetragen. Den früheren und derzeitigen Mitarbeitenden der Abteilung ist an dieser Stelle zu danken, insbesondere Andrea Brose, Julie Direnga und Dion Timmermann. Zudem konnten wir viele wertvolle Erfahrungen aus Weiterqualifizierungsveranstaltungen an der TUHH, an anderen Hamburger Hochschulen und in ganz Deutschland gewinnen, die ebenfalls hier eingeflossen sind. Dabei hat auch ein intensiver Austausch mit mehreren hochschuldidaktischen Zentren in Deutschland stattgefunden und zu den hier dargestellten Erkenntnissen beigetragen, besonders mit dem Zentrum für erfolgreiches Lehren und Lernen (ZeLL) der Ostfalia Hochschule in Wolfenbüttel, dem Zentrum für Hochschuldidaktik (DiZ) der bayerischen Hochschulen in Ingolstadt sowie dem Projekt SKATING, das an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft in Kooperation mit der Geschäftsstelle für Hochschuldidaktik in Baden-Württemberg (GHD) durchgeführt wird. Ein besonderer Dank geht hierfür (stellvertretend auch für andere Kolleginnen und Kollegen) an Peter Riegler (ZeLL), Claudia Walter (DiZ) und Jochen Berendes (GHD).

## 2. Qualitatives Verständnis technischer Begriffe und Zusammenhänge

- Sind fachliche Schwierigkeiten von Studierenden in den Grundlagenfächern des ingenieurwissenschaftlichen Studiums nicht nur eine Folge schlechter Voraussetzungen?
- Treten Schwierigkeiten beim Verständnis weitgehend zufällig auf oder lassen sie sich möglicherweise systematisch auf verbreitete Vorstellungen der Studierenden zurückführen?

Viele Lehrende in den MINT-Fächern beobachten, dass ihre Studierenden auch nach dem erfolgreichen Abschluss einer Lehrveranstaltung ganz elementare Begriffe und Zusammenhänge des jeweiligen Fachs nicht verstanden haben. Manche Lehrende sehen die entscheidenden Ursachen hierfür in mangelndem Interesse, zu geringer Leistungsbereitschaft oder nicht ausreichenden intellektuellen Fähigkeiten der Studierenden. Andere beklagen vor allem, dass sie selbst noch nicht den richtigen Weg gefunden haben, die Inhalte leicht verständlich zu erklären. Beide Faktoren, die Motivation und die Fähigkeiten der Lernenden einerseits und der Lehrenden andererseits, haben sicherlich einen Einfluss auf das Ergebnis von Lehre.

Tatsächlich spielt hier jedoch eine weitere Kategorie von Faktoren eine ganz wesentliche, oft vielleicht sogar die entscheidende Rolle. Dies sind Schwierigkeiten, die im Stoff selbst begründet liegen und in

Form von weit verbreiteten, systematisch falschen Vorstellungen bei den Lernenden zu Tage treten. „Systematisch“ soll hier bedeuten, dass Lernende in vielen Fällen von plausiblen aber falschen (und oft nicht explizit geäußerten) Annahmen ausgehen und dann logisch konsequent zu falschen Schlussfolgerungen gelangen. Dies zeigt eine große Zahl an Untersuchungen in den (Hochschul-)Fachdidaktiken der MINT-Fächer der letzten drei Jahrzehnte. In vielen Fällen wurde deutlich, dass Studierende auch nach Behandlung eines Themas in der Lehrveranstaltung Schwierigkeiten haben, Zusammenhänge zwischen relevanten technischen Größen in Worten auszudrücken und auf Problemstellungen ohne konkrete Zahlenangaben anzuwenden, und dies sogar dann, wenn sie die üblichen Rechenverfahren schon gut beherrschen.<sup>2</sup> Die Entwicklung

<sup>2</sup> Ein leicht nachvollziehbares Beispiel für das Auftreten der beschriebenen Schwierigkeiten bei gleichzeitig vorhandener Fähigkeit, herkömmliche Berechnungsaufgaben zu lösen, stellt Mazur im Einleitungskapitel seines Buchs „Peer Instruction“ dar. (Mazur 1997)

eines so genannten qualitativen (oder auch konzeptuellen) Verständnisses des Stoffes ist also keine Selbstverständlichkeit, die aus dem Anwenden von Lösungsalgorithmen folgt. Trotzdem erscheint sie uns und vielen anderen Lehrenden äußerst wichtig, zumal das Auffinden von Informationen und die Anwendung von Algorithmen zunehmend mithilfe von Rechenprogrammen und des Internets erledigt werden und sich die Aufgaben von Ingenieurinnen und Ingenieuren umso stärker darauf konzentrieren, mithilfe ihres grundsätzlichen Verständnisses prinzipielle Lösungsmöglichkeiten eines gegebenen technischen Problems zu beurteilen.

Ein Beispiel, das im Rahmen des Projekts Aktives Lernen im Ingenieurstudium genauer untersucht wurde, soll die beobachteten Schwierigkeiten verdeutlichen. Innerhalb der ersten zwei bis drei Wochen der Vorlesung Mechanik (zum Beispiel in den Studiengängen Maschinenbau oder Bauingenieurwesen) wird der Begriff des freien Moments eingeführt. Es handelt sich um eine gedankliche Zusammenfassung (Abstraktion) der Wirkung von zwei entgegengesetzt gerichteten und gleich großen Kräften, die in einem geringen Abstand voneinander auf einen und denselben Körper wirken. Ein Beispiel aus dem Alltag stellen die Kräfte eines Schraubendrehers dar, die an den beiden Kontaktstellen im Schraubenkopf ständig in entgegengesetzte Richtungen wirken. Im Bezug auf ihre „Verschiebungswirkung“ (d. h. resultierende Kraft) heben sich die beiden Kräfte dadurch gegenseitig auf. Es bleibt also nur ihre „Drehwirkung“ im oder entgegen dem Uhrzeigersinn.



Bild 1: Freihandversuch zur Illustration des freien Moments

Im Fach Technische Mechanik stellt das freie Moment neben dem Begriff der Kraft ein fundamentales Konzept dar, auf das sich alle weiteren Aussagen und Problemstellungen in irgendeiner Weise beziehen. Bei der Einführung des Konzeptes in der Vorlesung werden eine Reihe von wichtigen Eigenschaften hervorgehoben und mathematisch begründet, darunter auch die Aussage, dass ein freies Moment unabhängig davon, wo am Körper es angreift, den gleichen Beitrag zur Drehbewegung eines Körpers leistet. Diese Eigenschaft erlaubt es, ein Moment ohne Auswirkung auf das Verhalten des Gesamtkörpers zu verschieben, woraus sich der übliche Begriff „freies Moment“ erklärt. Unsere Untersuchung im Rahmen des Projekts hat unter anderem ergeben, dass der genannte

Aspekt von vielen Studierenden nicht verstanden wird. Einzelinterviews mit etwa 10 Studierenden haben uns in die Lage versetzt, nachzuvollziehen, warum dieser Aspekt so schwierig ist. Eine der im Interview verwendeten Aufgabenstellungen ist in Bild 2 wiedergegeben. Unter den Antwortmöglichkeiten (a) bis (f) sollen alle Konfigurationen von Kräften und Momenten ausgewählt werden, die zu der zuvor dargestellten Anordnung äquivalent sind. Viele Studierende wählen die (für Fachleute offensichtliche) Antwort (d) nicht aus. Aus ihren Begründungen wird deutlich, dass sie sich, möglicherweise unterstützt durch die verwendete Sym-

bolik (gekrümmter Pfeil), ein freies Moment als eine Tendenz zur Drehbewegung um eine feste Achse im Angriffspunkt des Moments vorstellen, was mit der oben beschriebenen Verschiebbarkeit offensichtlich nicht vereinbar ist. Wird diese Eigenschaft des Moments jedoch nicht verstanden, sind möglicherweise auch weitere Aspekte des freien Moments nicht mehr nachvollziehbar. Eine klare Abgrenzung des Konzeptes „Moment“ zu dem Konzept „Kraft“ ist dadurch ebenfalls nicht mehr möglich, und es fehlt damit ein fundamentaler Baustein im gedanklichen Gerüst der technischen Mechanik.

Das eingezeichnete Moment von 60 Nm im Uhrzeigersinn hält das dargestellte Bauteil im Gleichgewicht. Alle anderen Kräfte auf den Körper wirken in der Zeichenebene und sind schematisch durch die drei Pfeile links oben dargestellt. Die vier eingezeichneten Punkte liegen auf einer vertikalen Linie und haben jeweils den Abstand  $d = 2 \text{ m}$  vom benachbarten Punkt. Alle Kräfte in den Bildern unten wirken horizontal.

Welche Kräfte und/oder Momente können das gegebene Moment von 60 Nm ersetzen und das Bauteil im Gleichgewicht halten, wenn alle anderen Kräfte gleich bleiben?

Markieren Sie alle zutreffenden Situationen.

(a) 15 N force at the bottom left.  
 (b) 10 N force at the second point from the top.  
 (c) 15 Nm clockwise moment at the bottom.  
 (d) 60 Nm clockwise moment at the bottom.  
 (e) 30 N force at the second point from the top and 30 N force at the bottom left.  
 (f) 60 N force at the bottom left.

Bild 2: Aufgabe aus Interviews zum qualitativen Verständnis der Technischen Mechanik. Die Aufgabenstellung ist einer Frage im Concept Assessment Tool for Statics nachempfunden. Eine der Option (d) entsprechende Antwortmöglichkeit ist dort jedoch nicht enthalten.

Interessant ist in dem konkreten Fall, dass die genannte Vorstellung – wir sprechen von einer „Fehlvorstellung“ – möglicherweise in einem benachbarten Themenkomplex begründet ist, zu dem zwar bereits intuitive Vorstellungen bei Studierenden vorhanden zu sein scheinen, der aber erst in einem späteren Semester behandelt wird, nämlich der Dynamik von Drehbewegungen. Dort wird dargelegt, dass ein frei beweglicher Körper durch ein Moment immer in eine Drehbewegung um seinen Schwerpunkt versetzt wird, und zwar unabhängig davon, wo am betrachteten Körper das Moment tatsächlich angreift (s. auch Bild 1). Möglicherweise erlaubt erst ein Verstehen dieses später behandelten Zusammenhangs das Verständnis des freien Moments im Kontext der Statik. Häufiger sind es jedoch unvollständig verstandene Zusammenhänge aus zuvor absolvierten Lehrveranstaltungen, die dem Verstehen eines bestimmten Themas im Weg stehen.

Weitere Beispiele aus dem Gebiet der Mechanik, sowie aus der Elektrotechnik und der Thermodynamik, die in unserem Projekt ebenfalls untersucht wurden, ließen sich anführen. Wir verweisen hier jedoch auf eine an anderer Stelle erschienene Übersicht über Verständnisschwierigkeiten und Fehlvorstellungen in Grundlagenfächern des ingenieurwissenschaftlichen Studiums (Kautz 2014). Stattdessen soll noch einmal etwas allgemeiner zusammengefasst werden, was unsere Studie bestätigt hat:

*Auch wenn Studierende in der Lage sind, typische Berechnungsaufgaben weitgehend erfolgreich zu lösen, haben sie häufig Vorstellungen von Lerninhalten, die der wissenschaftlichen Sichtweise widersprechen. Diese „alternativen Vorstellungen“ (oder „Fehlvorstellungen“) sind häufig sehr plausibel und werden scheinbar durch Alltagserfahrungen und Alltagswissen bestätigt. Sie sind deshalb oft weit verbreitet und „hartnäckig“, d. h. sie werden durch die bislang üblichen Formen der Lehre (Vorlesungen und andere input-fokussierte Veranstaltungsformen) häufig nicht nachhaltig überwunden. Meistens gelingt dies nicht einmal, wenn sie als „Fehlvorstellungen“ explizit benannt werden.*

Die nachfolgenden Fragen und Aufgabenstellungen sollen Lehrenden in technischen Fächern die Gelegenheit geben, sich mit dem Thema dieses Kapitels anhand ihrer eigenen Lehrsituation weiter auseinanderzusetzen.



## Zum Weiterdenken

Wo, d. h. an welchen Stellen im Stoff, könnten auch bei den Studierenden in Ihren Lehrveranstaltungen systematisch Verständnisschwierigkeiten („Fehlvorstellungen“) auftreten?

Folgende Überlegungen können Ihnen beim Identifizieren solcher Fehlvorstellungen helfen:

- Welche Begriffe oder Zusammenhänge sind Ihnen im Studium selbst schwer gefallen? Gab es auch für Sie nennenswerte Hürden im Stoff, und wenn ja, worin bestanden diese? Können Sie sich erinnern, wie Sie diese überwunden haben?
- Gibt es im Kontext späterer Themen (z. B. in der zweiten Semesterhälfte) in Ihrer Lehrveranstaltung irgendwelche Anzeichen dafür, dass wesentliche Begriffe der ersten Lektionen nicht verstanden wurden?
- Wo vermuten Sie bei Ihren Studierenden Schwierigkeiten in Verbindung mit Themen außerhalb Ihrer eigenen Lehrveranstaltung, die das Verständnis Ihres Stoffes beeinträchtigen könnten?
- Suchen Sie zur Beantwortung der obigen Fragen auch das Gespräch mit Kolleginnen und Kollegen, die das gleiche oder ein verwandtes Fach lehren. Typische Fehlvorstellungen treten fast immer unabhängig von der Person des bzw. der Lehrenden auf.

Versuchen Sie, das konzeptuelle Verständnis der Studierenden in Ihren Lehrveranstaltungen durch einfache qualitative Fragen auf die Probe zu stellen. Weitere Hinweise inhaltlicher Art finden Sie hierzu am Ende des nächsten Kapitels. An dieser Stelle helfen Ihnen vielleicht die folgenden praktischen Anregungen:

- Stellen Sie die Fragen schriftlich und sammeln Sie die Antworten Ihrer Studierenden ein (ohne sie zu benoten, ggf. auch anonym). Bitten Sie die Studierenden, bei der Beantwortung der Fragen bzw. Aufgaben ihre Antworten schriftlich zu begründen.
- Wenn Sie mehrere Teilfragen so anordnen, dass den Studierenden dazwischen genügend Platz zur Verfügung gestellt wird, um die Fragen (inklusive einer verbalen Begründung) zu beantworten, wird das Durchsehen und Interpretieren der Antworten für Sie leichter.

### 3. Methoden zur Förderung von qualitativem Verständnis bei Studierenden

- ▶ Wie kann man Studierenden helfen, bekannte Fehlvorstellungen zu überwinden?
- ▶ Wie lassen sich die Vorstellungen der Studierenden in die Lehre im jeweiligen Fach gezielt einbeziehen?

Wie im vorigen Abschnitt beschrieben, bringen Studierende in technischen Grundlagenfächern häufig Vorstellungen über bestimmte Lerninhalte mit, die der wissenschaftlichen Sichtweise widersprechen. Viele Lehrende haben sogar die Erfahrung gemacht, dass ein gezielter Hinweis auf mögliche falsche Vorstellungen (teilweise mit erheblichem Aufwand z. B. für passende Demonstrationsversuche) fast keine Wirkung zeigt. Bei manchen Themen zeigt sich auch, dass notwendige Abstraktionen von den Studierenden nicht nachvollzogen oder bestimmte Informationen in systematischer Weise falsch interpretiert werden. Nimmt man diese Beobachtungen als Ausgangspunkt, dann liegt der Schluss nahe, dass Lehre, die wirksam sein soll, den Studierenden die Möglichkeit geben muss, sich ihrer eigenen bereits vorhandenen (intuitiven) oder sich gerade entwickelnden Vorstellungen bewusst zu werden. Nur dann können sie diese Vorstellungen in verschiedenen Situationen auf ihre Richtigkeit überprüfen und sie gegebenenfalls korrigieren. Diese Vorgehensweise, in drei einzelnen Schritten gedacht, wurde von McDermott mit den englischen Begriffen *Elicit*,

*Confront*, *Resolve* umschrieben (McDermott 1991), also dem „Hervorrufen“ der ursprünglichen Vorstellungen, dem „Gegenüberstellen“ dieser Ideen mit anderen Indizien und dem „Auflösen“ möglicher Widersprüche zwischen diesen.

Die Umsetzung dieses zentralen Prinzips kann im Rahmen verschiedener Lehrszenarien und auf verschiedene Weise versucht werden. In unserem Projekt haben wir drei konkrete Lehr-/Lern-Methoden erprobt, die dies im Rahmen von Vorlesungen, in Gruppenübungen und in der Selbstlernzeit anstreben. Die Methoden werden in der hochschul-(fach)-didaktischen Literatur häufig als *Peer Instruction*, *Tutorials* und *Just-in-Time Teaching* bezeichnet. Wir geben nachfolgend jeweils kurze Beschreibungen des typischen Ablaufs sowie konkrete Hinweise zur inhaltlichen Gestaltung, stellen Beispiele vor und berichten über die im Rahmen unseres Projekts bei der Umsetzung gewonnenen Erfahrungen. Zudem kommentieren wir diese aus fachdidaktischer Sicht und verweisen auf weitere Literatur. Die Reihenfolge der Darstellung der drei

Methoden folgt gleichzeitig dem zunehmenden Grad der Veränderung der Lehrveranstaltung und entspricht somit auch dem Aufwand bei der Einführung. Während sich Peer Instruction leicht in eine ansonsten nahezu unveränderte Vorlesung einbinden lässt, ist es für den Einsatz von Tutorials notwendig, den Gesamtumfang der Lehrveranstaltung zu erhöhen oder Präsenzzeit aus anderen Lehrformen (z. B. traditioneller Übung oder Labor) umzuwidmen. Bei der Einführung von Just-in-Time Teaching ist zwar keine zusätzliche Präsenzzeit notwendig. Die Funktion der Vorlesung ändert sich jedoch grundsätzlich und macht die Auswahl und Erstellung geeigneter Materialien sowie die Nutzung einer Lernplattform notwendig.

#### 3.1 Aktivierung in Vorlesungen: Peer Instruction

Der Name dieser Methode wurde von dem amerikanischen Physiker Eric Mazur geprägt (Mazur 1997) und soll ausdrücken, dass hierbei das Lernen der Studierenden von- und miteinander (von und mit den *peers*) eine wesentliche Rolle spielt. Der Ablauf vollzieht sich in drei aufeinander folgenden Phasen von Einzelarbeit, Partner- bzw. Kleingruppenarbeit und einer Diskussion in der Gesamtgruppe. Aufgrund der leicht möglichen Integration der ersten beiden Phasen in den gesamten Vorlesungsablauf eignet sich diese Methode hervorragend, um auch in sehr großen Lehrveranstaltungen die Studierenden zur Mitarbeit anzuregen.

In der ersten Phase stellt der oder die Lehrende eine Frage, die in der Regel schriftlich formuliert und im Multiple-Choice-Format gestellt ist. Die Studierenden werden aufgefordert, zunächst unabhängig voneinander über die Frage nachzudenken und innerhalb von ein bis zwei Minuten ihre Antwort an die Lehrperson zurückzumelden. Hierfür bietet sich ein elektronisches Abstimmungssystem an – die sogenannten *Clicker*. Prinzipiell lässt sich die Methode aber auch mit einfacheren Mitteln durchführen, z. B. mit farbigen Karten oder per Handzeichen. Eine simultane Übermittlung der Antworten, also nicht konsekutiv (erst „A“, dann „B“, usw.), sollte nach unserer Erfahrung jedoch unbedingt sichergestellt werden, um auszuschließen, dass die Studierenden sich in ihren Antworten gegenseitig beeinflussen. Bei Verwendung eines elektronischen Systems kann das Ergebnis der Abstimmung den Studierenden gezeigt werden. Oft bietet es sich aber an, nur eine ungefähre Beschreibung des Resultats („breite Verteilung“, „zwei favorisierte Antworten“ oder Ähnliches) zu geben. Liegt die Anzahl der richtigen Antworten in einem mittleren Bereich von etwa 30% bis etwa 70% (Lasry 2008), so folgt dann der nächste Schritt wie nachfolgend beschrieben. Andernfalls bieten sich eher andere Vorgehensweisen an, um weiterzuarbeiten. (Bei deutlich geringerem Anteil korrekter Antworten, ist es ratsam, der Frage nachzugehen, warum das Ergebnis so ausgefallen ist. Bei deutlich höherem Anteil reicht es möglicherweise aus, die richtige Antwort zu erläutern.)



In der zweiten Phase werden die Studierenden aufgefordert, ihre Nachbarin oder ihren Nachbarn von der Richtigkeit der eigenen Antwort zu überzeugen. In den Fällen, in denen benachbarte Personen die gleiche Antwort gegeben haben, werden diese generell aufgefordert, sich jeweils eine andere Person zu suchen, mit der sie noch nicht einer Meinung sind. Nach einer angemessen gewählten Zeitdauer, etwa zwei bis drei Minuten, bittet die oder der Lehrende um eine erneute Abstimmung. Bei einer geeigneten Ausgangssituation wird in der zweiten Abstimmungsrunde fast immer ein besseres Ergebnis erzielt, d. h. eine größere Anzahl der Studierenden gibt die gewünschte Antwort.

In der dritten Phase werden die Frage und die verschiedenen Antwortalternativen im Plenum diskutiert. Auch wenn dies zunächst nicht zielführend erscheinen mag, ist es häufig sinnvoll und ergiebig, auch die anfangs gewählten unrichtigen Antworten noch einmal aufzugreifen. Idealerweise begründen Studierende selbst, warum sie oder andere diese Alternative gewählt haben (können). Eine entsprechend hypothetisch formulierte Aufforderung durch den Lehrenden („Wie könnte jemand gedacht haben, der ‚A‘ gewählt hat?“) kann dies erleichtern.

Eine etwas ausführlichere Beschreibung der Methode, einschließlich einiger praktischer Hinweise sowie eines Ablaufschemas, findet sich in der zweiten Auflage des Buches von Waldherr und Walter

(Waldherr 2014). An dieser Stelle soll deshalb vor allem auf die Zielsetzung der Methode und die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Arten von Fragestellungen eingegangen werden.



Für einen Besucher in einer Vorlesung mit Peer Instruction ist die Aktivierung der Studierenden durch den Einsatz der Clicker-Geräte unmittelbar sichtbar. Darüber hinaus wird die willkommene Unterbrechung der „Vorlesungsmonotonie“ regelmäßig auch in Evaluationen positiv erwähnt. Dennoch kann Peer Instruction deutlich mehr bewirken als ein gelegentliches „Wachrütteln“ der Zuhörerschaft in einer ansonsten traditionellen Vorlesung. Nicht zuletzt ist Peer Instruction auch ein geeignetes Mittel, um der Heterogenität der Studierendenschaft in einer Lehrveranstaltung zu begegnen, da die Peer-Diskussionen in der zweiten Phase sowohl für schwächere als auch für stärkere Studierende Gewinn bringend sind. Während Schwächere eine Erklärung für einen Zusammenhang erhalten, die sie womöglich besser verstehen als die Erläuterungen der oder des Lehrenden (weil der Erklärende die gleiche Schwierigkeit möglicherweise erst kurz zuvor überwunden hat), ist die Auseinandersetzung mit den Fragen und Schwierigkeiten der schwächeren Studierenden auch für die Stärkeren lohnend. Sie festigen ihr eigenes Verständnis durch das selbstständige Formulieren ihrer Sichtweise. (Beides gilt übrigens in gleicher Weise auch für die im nächsten Abschnitt beschriebene Methode der Tutorials.)

Den Studierenden soll Peer Instruction Gelegenheit geben

- über zentrale (und erfahrungsgemäß schwierige) Fragestellungen des jeweiligen Themas nachzudenken,

- dabei bekannte Verständnisschwierigkeiten zu überwinden
- sich über ihre eigenen Vorstellungen und Denkweisen klar zu werden und sich deren Bedeutung bewusst zu werden,
- zu lernen, sich mit Anderen über fachliche Themen auszutauschen und logisch zu argumentieren,
- ihre eigenen Lernfortschritte besser einschätzen zu lernen und dadurch ein angemessenes Selbstvertrauen hinsichtlich ihrer Fähigkeiten zu gewinnen.

Für die Lehrenden bietet Peer Instruction zudem die Möglichkeit

- sich ein Bild vom momentanen Kenntnisstand der Studierenden zu machen und darauf angemessen zu reagieren,
- mit den Studierenden über fachliche Inhalte ins Gespräch zu kommen
- und konkrete Vorstellungen einzelner Studierender zu den Vorlesungsinhalten kennen zu lernen.

Hinter den beschriebenen drei Phasen verbirgt sich die oben erwähnte Strategie des *Elicit* (individuelles Nachdenken), *Confront* (Austausch mit dem/der Nachbar/in) und *Resolve* (Diskussion im Plenum). Noch etwas allgemeiner betrachtet kann Peer Instruction die Funktion der Vorlesung ändern: weg vom ausschließlichen Präsentieren von Inhalten, hin zum Arbeiten mit (oder auch: Verarbeiten von) Inhalten, wodurch tieferes Verständnis

und Anwendungskompetenz erzielt werden kann. Interessanterweise beschreibt Mazur, dass mit Einführung von Peer Instruction die Lehre auch für ihn als Lehrenden lohnender wurde. Unsere Erfahrungen innerhalb und außerhalb des Projektes Aktives Lernen im Ingenieurstudium bestätigen dies sehr deutlich (siehe nachfolgendes Zitat).

„Die Diskussionen unter den Studierenden nach einer Clickerfrage im Rahmen von Peer Instruction geben mir das Gefühl, dass der Vorlesungsstoff bei den Studierenden auch wirklich ankommt und dass sie das Thema interessiert. Dadurch empfinde ich eine Großvorlesung wie Thermodynamik nicht mehr als reine Pflichtübung.“ (Prof. Schmitz, TUHH, zum Einsatz von Peer Instruction in seiner Lehrveranstaltung.)

Damit die vorstehend genannten Zielsetzungen erfüllt werden können, müssen geeignete Fragen gestellt werden. Hierbei stellt sich heraus, dass die Entwicklung wertvoller Multiple-Choice-Fragen oft nicht einfach ist. Wichtig ist ein angemessener Schwierigkeitsgrad, aber auch der Fokus der Frage muss gut gewählt sein. Fragen, in denen es um Fakten geht, die allein durch Zuhören oder Nachschlagen beantwortet werden können, eignen sich nicht für Peer Instruction, da sie zu keiner ernsthaften Diskussion Anlass geben, und sollten deshalb nur selten gestellt werden. Ebenso wenig geeignet sind Fragen, in denen umfangreiche (mehrschrittige) Rechnungen ausgeführt werden müssen, da voneinander abweichende Ergebnisse

häufig keine Rückschlüsse auf das unterschiedliche Vorgehen ermöglichen.

Bewährt haben sich nach unserer Erfahrung vor allem Fragen, in denen die Studierenden die wesentlichen Begriffe der Vorlesungseinheit auf unbekannte Situationen anwenden oder mithilfe der erläuterten Zusammenhänge Aussagen über Beispielsituationen machen sollen. Besonders wertvoll für Lehrende in unserem Projekt waren Fragen, bei denen es gelungen ist, spezifische Verständnisschwierigkeiten der Studierenden zur Formulierung der Distraktoren (d. h. Antwortalternativen) heranzuziehen. Zwei Beispiele sollen dies veranschaulichen.



Bei der nebenstehenden Frage aus der Thermodynamik geht es um das ideale Gasgesetz und die Information über die Temperatur, die in einem p,v-Diagramm enthalten ist. In Phase 1 der Peer-Instruction-Einheit wurden die Antworten 1 und 2 mit je knapp einem Drittel etwa gleichhäufig gewählt. Ursache für die Attraktivität der (nicht richtigen) Antwort 1 sind nach früheren Studien die Vorstellungen, dass höherer Druck oder geringeres Volumen (d. h. größere Teilchendichte) eine höhere Temperatur zur Folge haben muss. Nach etwa dreiminütiger Peer-Diskussion wählten bei

Im p, V-Diagramm unten sind vier verschiedene Zustände eines idealen Gassystems (mit konstanter Gasmenge) durch Auftragen von p gegen V dargestellt.

Für die Temperaturen des Gases in den verschiedenen Zuständen gilt:

1.  $T_A > T_B > T_C > T_D$
2.  $T_B > T_A = T_D > T_C$
3.  $T_B = T_A > T_C = T_D$
4. keine der obigen Antworten
5. Ich bin mir nicht sicher, welche Antwort richtig ist.

der erneuten Abstimmung etwa zwei Drittel der Teilnehmenden die richtige Antwortalternative 2.

Bei der nebenstehenden Frage aus der Mechanik, die einem Item aus dem Concept Assessment Tool for Statics (Steif 2005) nachempfunden ist, geht es um die Bedingungen, die für das statische Gleichgewicht eines Körpers erfüllt sein müssen. In Phase 1 wurde Antwort 2 mit gut einem Drittel am häufigsten gewählt, Antwort 1 sowie die korrekte Antwort 4 etwa gleich häufig, nämlich von knapp einem Viertel der Studierenden. Gründe für die Antworten 1 und 2 liegen vermutlich in selektivem Überprüfen nur einer der beiden Gleichgewichtsbedingungen (für Kräfte bzw. für Momente). Trotz der eher ungünstigen Ausgangssituation rief der Dozent die Studierenden zur Diskussion mit den Nachbarn auf. Nach der Peer-Diskussion gaben über die Hälfte der Studierenden die richtige Antwort. Ähnlich dem vorangegangenen Fall war es

Auf das dargestellte Bauteil wirken in den beiden Situationen jeweils die gezeigten Kräfte und Momente.

Kann das Bauteil bei geeigneter Wahl der Beträge der Kräfte und Momente im Gleichgewicht sein?

Gleichgewicht ist möglich ...

1. nur in Fall I
2. nur in Fall II
3. in Fall I und Fall II
4. weder in Fall I noch in Fall II

das Ziel, in der dann einsetzenden Phase 3 durch Diskussion aller Antwortalternativen auch die übrigen Studierenden zu einem tieferen Verständnis der relevanten Zusammenhänge (hier also der Gleichgewichtsbedingungen) zu führen.

Einige praktische Hinweise zum Erstellen geeigneter Fragen werden am Ende dieses Kapitels gegeben. Für viele Fächer und Lehrveranstaltungen bietet es sich an, zunächst in der Literatur oder im Internet nach vorhandenen Peer Instruction-Fragen zu suchen.<sup>3</sup> Die Begriffe „Peer Instruction questions“ oder „Clicker questions“ in Verbindung mit dem englischen Namen des eigenen Fachs führen häufig zu brauchbaren Ergebnissen. Auch dann muss natürlich geprüft werden, ob die gefundenen Fragen zu den Inhalten der eigenen Veranstaltung und zu deren Lernzielen passen. Darüber hinaus können folgende Leitfragen bei der Analyse einer Peer Instruction-Frage weiterhelfen:

- Welche Überlegungen sind notwendig, um diese Frage zu beantworten?
- Welche Ziele werden mit der Frage verfolgt bzw. welche Lernziele lassen sich aus ihr rekonstruieren?
- Gibt es plausible falsche Annahmen oder Überlegungen, die zu den gegebenen Distraktoren (falschen Antwortmöglichkeiten) führen, und werden die erwarteten falschen Vorstellungen zum Thema von den Distraktoren erfasst?
- Ist die Formulierung der Frage angemessen? Könnte die Darstellung der Frage (z. B. in Bezug auf Layout und Grafiken) noch verbessert werden?

Zu vermeiden sind folgende Situationen:

- Zwei falsche Vorstellungen kompensieren sich und führen zur richtigen Antwort.

<sup>3</sup> Siehe hierzu auch die Hinweise in Kapitel 5 von (Waldherr 2014).

- Die Fragestellung ist so komplex, dass sie nur in mehreren Schritten oder mit zusätzlichen Annahmen zu beantworten ist. Wegen zu vieler möglicher Abwege ist die Diskussion im Plenum dann oft wenig fokussiert.
- Die Beantwortung der Frage setzt eine längere Rechnung voraus.
- Die Antwort auf die Frage lässt sich durch Nachlesen in den Vorlesungsunterlagen sofort finden.

### 3.2 Fokus auf qualitative Fragestellungen und Gruppenarbeit in Übungen: *Tutorials*

In dem hier beschriebenen Projekt haben wir den Begriff *Tutorials* in einem sehr speziellen Sinn verwendet, der auf die vor über 20 Jahren veröffentlichten Tutorials in Introductory Physics von McDermott und Shaffer zurückgeht (McDermott und Shaffer 1998). Dabei handelt es sich um eine in Buchform herausgegebene Sammlung von Arbeitsblättern zur Physik, die auf den Ergebnissen mehrjähriger Untersuchungen zu studentischen Verständnisschwierigkeiten aufbauen und durch eine genau strukturierte Abfolge von Fragen und Problemstellungen die Lernenden bei der Entwicklung eines qualitativen Verständnisses des Stoffs unterstützen sollen. (Häufig beziehen sich die Problemstellungen auf einfache Experimente, die eine induktive Aneignung des Stoffs ermöglichen.) Im Rahmen unseres Projektes haben wir den Begriff *Tutorials* auf die nach ähnlicher Vorgehensweise an der TUHH entwickelten Materialien zur Elekt-

rotechnik und zur Technischen Mechanik übertragen. Der Name Tutorials bezeichnet also zunächst schriftlich vorliegende Lehrmaterialien.

Der Begriff *Tutorials* steht darüber hinaus aber auch für eine besondere Form des Einsatzes dieser Materialien, meist im organisatorischen Kontext einer Gruppen- oder Hörsaalübung. Wesentliche Merkmale dieser Verwendung der Materialien sind die Arbeit in Kleingruppen (3 bis 4 Studierende) und die Rolle der beteiligten Lehrkräfte. Diese agieren als „Lernbegleiter“, indem sie vermeiden, auf Fragen der Studierenden erschöpfende Antworten zu geben, und stattdessen versuchen, durch gezielte Fragen die Aufmerksamkeit der Studierenden auf wichtige Aspekte zu lenken und ihnen dadurch bei der Erarbeitung der Inhalte zu helfen.

Um einerseits die spezielle Intention und Entwicklung der Lehrmaterialien auszudrücken und andererseits auf die besondere Form des Einsatzes der Materialien hinzuweisen, verwenden wir den Begriff *Tutorials* im englischen Original und unterscheiden ihn gegenüber dem Begriff Tutorium, der an deutschen Hochschulen häufig optionale Zusatzveranstaltungen bezeichnet, die von studentischen Tutoren geleitet werden. Letzteres mag für die *Tutorials* gelegentlich ebenfalls zutreffen; es ist aber hierbei nicht entscheidend, welche Art von Lehrkraft die Studierenden betreut.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Die hier als Tutorials bezeichneten Lehrmaterialien sind jeweils in ihrer deutschen Fassung mit dem Titel „Tutorien zu ...“ veröffentlicht. Dennoch verwenden wir in dieser Handreichung den Begriff Tutorials neben der besonderen Einsatzweise auch für die Materialien selbst.



Auch den Tutorials liegt die didaktische Strategie des *Elicit, Confront, Resolve* zugrunde. Die Begriffe wurden von McDermott ursprünglich gerade für diesen Kontext eingeführt. Der erste Schritt (*Elicit*) kann bereits vor dem Zusammenkommen der Studierenden zum Tutorial erfolgen. Werden in einem Vortest bestimmte auf das Tutorial hinführende qualitative Fragen vorab gestellt (z. B. als Teil eines umfangreicheren Just-in-Time Teaching Online-Moduls), bietet es sich an, die Fragen zu Beginn des jeweiligen Tutorial den Studierenden noch einmal vor Augen zu führen. (Zudem können die Antworten der Studierenden in diesem Fall auch zur Vorbereitung der „Lernbegleiter“ auf ihren Einsatz im Tutorial verwendet werden.) Häufig enthalten die Tutorial-Arbeitsblätter jedoch alle drei Schritte dieser Vorgehensweise. Es werden also zu Beginn (noch einmal) Vorstellungen zum Thema abgefragt (*Elicit*), diese dann experimentellen Beobachtungen oder theoretischen Überlegungen gegenüber gestellt (*Confront*) und in eine wissenschaftlich korrekte Sichtweise überführt (*Resolve*).

Die Tutorials sind nicht als eigenständiges Unterrichtswerk gedacht, sondern sollen in Verbindung mit Vorlesungen und Lehrbüchern das qualitative Verständnis der physikalischen Begriffe fördern.<sup>5</sup> Ein weiteres Ziel dieser Lehrmaterialien ist es, den Studierenden durch einen aktiven Prozess des Lernens die Fähigkeit zum selbständigen wissenschaftlichen Denken zu vermitteln.

Der nachfolgende Ausschnitt aus einem Tutorial-Arbeitsblatt zur Äquivalenz von Kräftesystemen in der Technischen Mechanik soll verdeutlichen, wie die Materialien didaktisch vorgehen. Es wird zunächst (hier allerdings nur stichwortartig in der Überschrift 2.1) eine allgemeine Frage aufgeworfen. Diese Frage wird anhand einer konkreten Situation verdeutlicht. In diesem speziellen Fall geschieht dies mittels einer Aussage einer fiktiven Studentin, die eine typische Fehlvorstellung bezüglich der Ersetzbarkeit von Kräften und Momenten zum Ausdruck bringt.

Die Lernenden (d. h. die Nutzerinnen und Nutzer der Materialien) werden nun zunächst (Teilaufgabe a) um Zustimmung oder Ablehnung der Aussage und um eine entsprechende Begründung gebeten (*Elicit*). Es ist dabei durchaus wahrscheinlich, dass mindestens ein Mitglied einer beliebigen Vierergruppe die im Zitat geäußerte problematische

<sup>5</sup> Obwohl diese Materialien in erster Linie für einen kontinuierlichen Einsatz über ein oder zwei Semester konzipiert sind, deutet eine Studie an der North Carolina State University darauf hin, dass auch ein isoliert angewandtes Arbeitsblatt nachweisbaren Erfolg haben kann. Siehe hierzu: D. Abbott, J. Saul, G. Parker und R. Beichner, Can one lab make a difference?, Phys. Educ. Res., Am. J. Phys. Suppl. 68, S60 (2000).

Vorstellung teilt. Die folgenden beiden Teilaufgaben (b und c) geben den Studierenden Gelegenheit, den Widerspruch dieser Vorstellung zu der Bedingung unveränderter resultierender Kräfte und Momente zu erkennen (*Confront*). Die letzte Teilaufgabe (d) soll dann die Studierenden dazu veranlassen, eine korrekte allgemeine Regel für die gegebene Fragestellung zu entwickeln (*Resolve*). Für den Fall, dass ihnen dies nicht gelingt, ist vorgesehen, die Antworten mit einer oder einem Lernbegleiter(in) zu diskutieren und gemeinsam zu überprüfen. Typisch für die Tutorials ist, dass die Verwendung von Berechnungsformeln nur sehr eingeschränkt vorausgesetzt wird, während Alltagsvorstellungen der Studierenden einbezogen und ggf. als unrichtig entlarvt werden.

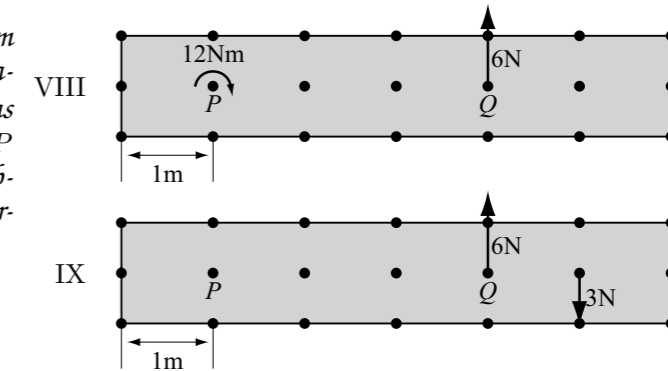
Die Arbeit in Kleingruppen und die Betreuung durch fachlich und didaktisch gut vorbereitete „Lernbegleiter“ ist ein wesentliches Element der Unterrichtsform Tutorials. Die Materialien sind also nicht für das Selbststudium oder die Arbeit in unabhängigen Lerngruppen gedacht und hierfür in der Regel auch nicht besonders geeignet. Bei der Durchführung im Kontext von Gruppenübungen haben sich Vierergruppen bewährt. Sie stellen in vielen Situationen einen guten Kompromiss zwischen möglichst starker Beteiligung aller Gruppenmitglieder einerseits und Betreuungseffizienz andererseits dar. Voraussetzung für erfolgreiches Arbeiten zu viert ist, dass sich die Studierenden paarweise gegenüber sitzen, von der Nachbargruppe räumlich getrennt und für die Lehrperson räumlich erreichbar sind. Das Betreu-

## 2 Äquivalente Kräftesysteme

### 2.1 Ersetzen eines freien Moments durch eine Kraft?

Kira bearbeitet die Aufgabe, für das gegebene System VIII ein äquivalentes System IX anzugeben, und begründet ihre Lösung wie folgt:

Kira: „Mein System IX ist zu dem gegebenem System VIII äquivalent, da wegen  $\vec{M} = \vec{d} \times \vec{F}$  das Moment von 12 Nm bezüglich P durch eine Kraft von 3 N im Abstand  $d = 4$  m von P ersetzt werden kann.“



- Stimmen Sie dieser Aussage zu? Begründen Sie.
- Vergleichen Sie die resultierenden Kräfte der beiden Systeme.
- Vergleichen Sie die resultierenden Momente der beiden Systeme bezüglich Q.
- Ist es möglich, ein freies Moment durch eine Einzelkraft an einem (gezielt gewählten) Angriffspunkt zu ersetzen? Begründen Sie.

Diskutieren Sie Ihre Antworten in Abschnitt 2.1 mit einem Tutor.

ungsverhältnis sollte möglichst nicht schlechter als 24:1 sein, also maximal 6 Gruppen pro Lehrperson. Der Einsatz eines zweiten Lernbegleiters ist auch bei dieser Gruppengröße durchaus von Vorteil.

Werden die Tutorials in Gruppen mit deutlich mehr Studierenden durchgeführt, etwa im Kontext einer Hörsaalübung, so ist es ratsam, eine entsprechend größere Anzahl von Personen zur Betreuung einzusetzen. In unserem Projekt haben wir mit 12 Lernbegleitern bei etwas über 400 Studierenden gute Erfahrungen gemacht. Im Unterschied zum oben Gesagten sollten die Studierenden in Räumen mit fester Bestuhlung in Sitzreihen allerdings Dreiergruppen bilden, da nur dann gewährleistet ist, dass eine intensive Kommunikation zwischen allen Gruppenmitglieder zustande kommen kann. Falls möglich, ist es in solchen Fällen auch sehr hilfreich, wenn jede zweite oder dritte Bankreihe leer bleibt, damit die Lernbegleiter alle Studiendengruppen direkt erreichen und ansprechen können.

Lassen sich die Tutorials zumindest annähernd unter den hier beschriebenen Bedingungen implementieren, ist es sehr wahrscheinlich, dass die Studierenden dies als eine eindeutige Verbesserung der Lehre wahrnehmen. Wie das nachfolgende Zitat zeigt, kann der Einsatz der Tutorials auch für Lehrende eine interessante und positive neue Erfahrung darstellen.

„Die Studierenden waren für über eine Stunde konzentriert bei der Sache, haben experimentiert,

diskutiert und Theorien entwickelt und wieder verworfen. Ich bin sehr positiv überrascht, insbesondere, da ich bei dem ersten Tutorium [zum Thema „Strom und Widerstand“] schon ein wenig Sorge hatte, dass es etwas zu einfach geraten sein könnte.“ (Prof. Rostalski von der Universität zu Lübeck nach seinem erstmaligen Einsatz von Tutorials im Fach Elektrotechnik)



### 3.3 Gezieltes Nutzen der Selbstlernzeit: *Just-in-Time Teaching*

Der Name dieser Methode geht auf eine Veröffentlichung von mehreren Autoren zurück (Novak 1999) und soll andeuten, dass nach dieser Methode der genaue Inhalt und Ablauf eines Veranstaltungstermins anhand von zeitnah eintreffenden Informationen kurzfristig festgelegt wird. Dies wird dadurch möglich, dass die Studierenden aufgefordert werden, sich vor dem Vorlesungstermin mit den fachlichen Inhalten der Einheit selbst vertraut zu machen. Hierzu kann die Lektüre ausgewählter Abschnitte im Lehrbuch oder Skript empfohlen oder eine frühere Vorlesungsaufzeichnung bereit-

gestellt werden. Anschließend sollen die Studierenden in einer Online-Plattform ausgewählte Fragen beantworten oder kurze Aufgaben bearbeiten. In manchen technischen Systemen ist es dabei sogar möglich, die Fragen und Aufgaben individualisiert zu stellen, sodass ein einfaches Kopieren der Antwort unmöglich gemacht wird. Meist enden die zu bearbeitenden Aufgaben mit einer Freitextfrage, in der die Studierenden beschreiben sollen, was bei der Lektüre unklar geblieben ist oder (wenn dies nicht der Fall ist) welche Aspekte des Stoffs ihnen besonders wichtig erscheinen. Die Möglichkeit zur Beantwortung der Fragen endet am Vortag des wöchentlichen Veranstaltungstermins (oder unter Umständen einen Tag früher) und der oder die Lehrende kann die Antworten der Studierenden dann einsehen und auswerten.

Auch diese Methode ist in dem erwähnten Buch von Waldherr und Walter (Waldherr 2014) ausführlich beschrieben. An dieser Stelle sollen die



Ziele von Just-in-Time Teaching (JiTT) betont werden:

- Das Nutzen der Selbstlernzeit durch die Studierenden wird angeregt, unterstützt und sinnvoll gestaltet.
- Studierende werden ermutigt, sich auf die Präsenzveranstaltung vorzubereiten und können das, was dort geboten wird, besser aufnehmen und verarbeiten.
- Studierende sind in einem gewissen Maße an der Auswahl der Vorlesungsinhalte beteiligt, was zu ihrer Motivation beitragen kann.
- Studierende lernen zu „studieren“, d. h. ihr eigenes Lernen zu reflektieren und selbst zu steuern
- die Vorlesung wandelt sich von einem (relativ unwirksamen) Instrument der Informationsvermittlung zu einem (sehr wirksamen) Instrument der Lernhilfe,
- Lehrende sind in der Lage, die Vorlesungszeit zielgenau auf die entscheidenden Fragen auszurichten, die den Studierenden Schwierigkeiten bereiten.

Die vorangegangene Aufstellung der Ziele hilft auch zu erkennen, worin sich *Just-in-Time Teaching* von einer anderen Neuerung in der Lehre, dem *flipped classroom*, unterscheidet. Mit „*flipped classroom*“ oder „*inverted classroom*“ wird häufig der Planungsansatz bezeichnet, dass „Stoffvermittlung“ und „Anwendung“ vertauscht werden. Studierende bekommen also nicht mehr in der Vorlesung Informationen dargeboten, die sie dann allein zu Hause anwenden sollen (was ihnen erfah-

rungsgemäß Schwierigkeiten bereitet), sondern sie erarbeiten sich den Stoff (häufig anhand von Vorlesungsaufzeichnungen) zu Hause selbst, bevor sie in der Präsenzzeit die Anwendung üben und dabei Hilfe erhalten können. Diese Überlegungen liegen auch dem *Just-in-Time Teaching* zugrunde. Hinzu kommen beim *Just-in-Time Teaching* jedoch noch die zusätzliche Rückmeldung über den augenblicklichen Lernstand an die Lehrenden (und die Lernenden) vor dem jeweiligen Präsenztermin, die darauf basierende Anpassung der Präsenzveranstaltung sowie die generelle Betonung qualitativer Fragestellungen.

Wie in den zuvor beschriebenen Tutorials lässt sich auch im Ablauf des *Just-in-Time Teaching* das Schema *Elicit, Confront, Resolve* wiederfinden, wobei das „Hervorrufen“ (*Elicit*) der Vorstellungen der Lernenden hier bereits vor der Präsenzveranstaltung erfolgt, sodass die oder der Lehrende Gelegenheit hat, sich auf die folgenden beiden Schritte vorzubereiten und ggf. dafür hilfreiche Materialien heranzuziehen.



*Just-in-Time Teaching* besteht (für die Studierenden) also aus einem Leseauftrag und einer Reihe von zu beantwortenden Fragen und Aufgaben. Für den Leseauftrag wurden in unserem Projekt für eine Vorlesung der Mechanik Ausschnitte aus zwei unterschiedlichen Büchern ausgewählt, aus denen sich die Studierenden jeweils das für sie Ansprechendere aussuchen konnten. Dass wir uns im Unterschied zu dem beim *Inverted Classroom* üblichen Vorgehen nicht für die Bereitstellung von Videoressourcen sondern für eine Lektüreaufgabe entschieden haben, hat u. a. auch den Grund, dass wir die Fähigkeit, fachliche Inhalte aus Texten zu entnehmen, für ein wichtiges Lernziel unserer Veranstaltungen halten.

Im Anschluss an den Leseauftrag wurden jede Woche vier *Multiple-Choice-Fragen* und eine *Freitextfrage* gestellt. Manche der *Multiple-Choice-Fragen* waren so gewählt, dass sie nach aufmerksamem Lesen des Lehrbuchtextes von fast allen Studierenden richtig beantwortet werden konnten. Andere Aufgaben jedoch setzten die Anwendung des Gelesenen auf eine neue Situation voraus und waren von der Art ähnlich wie die zuvor beschriebenen Fragen für die Methode *Peer Instruction*. Die *Freitextfrage* war jede Woche dieselbe und zielte darauf ab, die Studierenden über das Ergebnis des Lesens nachdenken zu lassen.

#### Frage 4 - VT - Fragen zur Lektüre

Gibt es Teile der Lektüre, die Ihnen unklar geblieben sind?

Wenn ja, formulieren Sie eine *konkrete Frage* zu dem entsprechenden Thema.

Wenn nein, geben Sie an, welche Aussage im Text ihnen besonders wichtig oder besonders interessant erschien.

Durch die gewählte Formulierung wurden Antworten wie „Ich habe nichts verstanden.“ oder „Ich habe keine Fragen.“ nahezu vollständig vermieden. Im Unterschied zu *Peer Instruction* (und *Tutorials*) betreffen die Änderungen bei *JiTT* neben der Präsenzzeit ganz besonders auch die *Selbstlernzeit*. Dies bedeutet, dass Studierende weit stärker für *JiTT* motiviert werden müssen, damit sie die nötige Zeit außerhalb der Vorlesungen und Übungen tatsächlich investieren. Während sich Studierende bei während der Präsenzzeit angebotenen Maßnahmen fast ausnahmslos beteiligen, ist hierfür in der *Selbstlernzeit* die Hürde deutlich größer. Wichtig für das Gelingen der Methode ist deshalb, dass sich der Aufwand für die Studierenden lohnt und dadurch der Zweck der Methode für sie deutlich wird. Eine Reihe von Bedingungen sind dafür maßgeblich:

- Die ausgewählte Lektüre hat einen angemessenen Schwierigkeitsgrad und passt zu den Aufgaben und zum Stoff.
- Die gestellten Fragen und Aufgaben passen zum Stoff und zu den Lernzielen der Lehrveranstaltung.
- Die gestellten Aufgaben und die Antworten der Studierenden werden in der Vorlesung aufge-

griffen. Es werden Beispiele von *Freitextantworten* oder selbst formulierten Fragen der Studierenden wörtlich (aber natürlich anonym) zitiert.

- Es herrscht bei der Besprechung der Antworten und Fragen der Studierenden eine wertschätzende Atmosphäre. Falsche Argumentationsweisen werden als solche kenntlich gemacht, aber als prinzipiell nachvollziehbar dargestellt (was sie in den meisten Fällen auch tatsächlich sind) und damit nicht abwertend behandelt.
- Eine Bewertung der Fragen (z. B. in Form der Anrechnung einer geringen Zahl von „Zusatzpunkten“ auf die Klausur) kann als Anreiz zur Bearbeitung der Aufgaben hilfreich sein. Bei der Verwendung wirklich anspruchsvoller Fragen (inklusive einer Begründung als *Freitext*) sollte jedoch schon die Teilnahme zur Vergabe der Punkte führen (also ohne Rücksicht auf die Richtigkeit der gewählten Antwort).

Dass auch diese Methode für die Lehrperson selbst eine neue Perspektive auf das Lehren eröffnet, zeigt das folgende Zitat.

„JiT ermöglicht auch bei großen Lehrveranstaltungen eine effektive und wirkungsvolle Reaktion auf Lernschwierigkeiten, die bei Studierenden im Verlauf der Vorlesung auftreten. Dass sowohl die Rückmeldung von den Studierenden zu ihrem Lernverlauf als auch die Studierenden Rückmeldung zu ihrem Lernverlauf von mir bekommen, erlebe ich als sehr fruchtbar. Die Entwicklung der Materialien für JiT ist nicht ganz unaufwändig, aber durchaus im Aufwand vergleichbar zu dem für andere große Veranstaltungen. JiT ermöglicht dem Dozenten, mit einer anderen Perspektive auf die Lernziele zu schauen. Als besonders wirkungsvoll haben sich die Freitextfragen erwiesen, die von Studierenden durchweg ernsthaft und positiv angenommen wurden. Freitextantworten ermöglichen einen Dialog, den ich im üblichen Lehrbetrieb nicht kenne.“ (Prof. Hoffmann über die Verwendung von *Just-in-Time Teaching* in seinen Vorlesungen Mechanik I/II)

Allen hier genannten Methoden ist gemeinsam, dass sie den Studierenden konkrete Gelegenheiten geben, sich mit den fachlichen Inhalten intensiv auseinander zu setzen und dabei ihr eigenes Verständnis kritisch zu hinterfragen. Dabei können und sollen eigene Vorstellungen überprüft und gegebenenfalls als unrichtig erkannt werden, um sie dann in Richtung der wissenschaftlich korrekten Sichtweise zu modifizieren. Dieser Prozess ist in der didaktischen Literatur häufig mit dem Begriff *Conceptual Change* (Posner 1982) bezeichnet worden. Eine konkrete Umsetzung dieses Con-

ceptual Change kann häufig mithilfe der beschriebenen Sequenz *Elicit - Confront - Resolve* erreicht werden.

Die nachfolgenden Fragen und Aufgabenstellungen sollen Lehrenden in technischen Fächern die Gelegenheit geben, sich mit dem Thema dieses Kapitels anhand ihrer eigenen Lehrsituation weiter auseinanderzusetzen.

## Zum Weiterdenken

Welche der drei vorgeschlagenen Methoden (Peer Instruction, Tutorials und Just-in-Time Teaching) können Sie sich für Ihre Lehrveranstaltung vorstellen? Welche halten Sie in Ihrem Fall für weniger geeignet, und warum?

Ein wesentlicher Bestandteil aller drei Methoden sind qualitative Fragestellungen, die Sie an Ihre Studierenden richten. Diese helfen Ihnen, die Schwierigkeiten Ihrer Studierenden genauer wahrzunehmen, und sind gleichzeitig ein erster Schritt, den Studierenden darüber hinweg zu helfen. Die folgenden Überlegungen können Ihnen beim Erstellen solcher Fragen helfen:

- Beginnen Sie mit den Themen (Begriffen und Zusammenhängen), die Sie am Ende des vorigen Kapitels als besonders schwierig für Ihre Studierenden identifiziert haben.
- Fragen oder Aufgaben, die sich auf konkrete (technische) Situationen beziehen, haben sich als deutlich ergiebiger herausgestellt als solche, die nach allgemeinen Zusammenhängen (wie z. B. dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik) fragen.

- Aussagekräftige Ergebnisse erhalten Sie häufig bei Fragen, in denen zwei ähnliche Situationen verglichen werden sollen, oder in denen eine Vorhersage getroffen werden soll, wie ein System reagiert, wenn ein Parameter verändert wird (z. B. eine Kraft verschoben, ein elektrischer Schalter geschlossen oder die Temperatur eines Systems erhöht wird).
- Vermeiden Sie Aufgaben, bei denen mehrzeilige algebraische Umformungen zur Lösung nötig sind. Rechenfehler, die dabei auftreten würden, geben meist nur wenig Aufschluss über das Denken der Studierenden.

## 4. Häufige Fragen zum Einsatz der aktivierenden Methoden

Viele Lehrende, die im Rahmen eines Vortrags oder Seminars zum ersten Mal von den zuvor erwähnten Lehr- bzw. Lernmethoden erfahren, fragen sich, ob und wie die Einführung dieser Methoden in ihrer eigenen Lehrveranstaltung gelingen kann. Häufig werden potentielle Hürden darin gesehen, dass die Methoden sich für das betreffende Fach nicht eignen oder unter den gegebenen Rahmenbedingungen nicht eingesetzt werden könnten, oder dass die Studierenden die Änderungen nicht annehmen würden. In diesem Kapitel soll auf eine Reihe solcher Überlegungen anhand von konkreten Fragen eingegangen werden. Da sich manche der Fragen zu einer Methode wörtlich oder sinngemäß auf eine andere übertragen lassen, sind die Fragen nicht nach der genannten Methode sondern nach verschiedenen auftretenden Aspekten von Lehre sortiert.

### 4.1 Rollen von Lehrenden und Lernenden

*Wie kann Peer Instruction überhaupt funktionieren, wenn keiner in meiner Vorlesung etwas verstanden hat? Kann es nicht passieren, dass sich die falschen Argumente durchsetzen, und hinterher viele Studierende mit der falschen Antwort aus der Vorlesung gehen?*

Die Erfahrung zeigt, dass Studierende, die ein Thema oder eine konkrete Fragestellung besser verstanden haben, in der Regel auch die überzeugenderen Argumente haben als diejenigen, die noch nicht so weit gekommen sind. Deshalb tritt der Fall, dass in der zweiten Abstimmung deutlich mehr Studierende die richtige Antwort geben als zuvor, deutlich häufiger auf als die entgegengesetzte Entwicklung. Selbst wenn die Anzahl der richtigen Antworten einmal abnehmen sollte, haben Sie immer noch die Gelegenheit, dies in der nachfolgenden Diskussion im Plenum zu korrigieren. Durch eine geschickt inszenierte Verkündigung, dass der gewünschte Effekt nicht eingetreten ist, haben Sie die Aufmerksamkeit der allermeisten Studierenden bei sich. Sie schaffen also einen Moment für wirksames „Dozieren“ (engl: „Time for Telling“). Gleiches gilt, wenn die erste Abstimmung einmal so wenig richtige Antworten zeigen sollte, dass die übliche zweite Phase der Peer Discussion nicht aussichtsreich erscheint.

*Kann es wirklich sein, dass die Diskussionen zwischen den Studierenden untereinander erfolgreicher sind als mein eigener Vortrag? Ich habe doch durch meine Erfahrung sicher ein tieferes Verständnis von den Inhalten meiner Vorlesung als selbst die stärkeren Studierenden. Zudem sehe ich es als meinen Arbeitsauftrag an, den Studierenden den Stoff zu vermitteln.*

Als ExpertInnen sind wir zwar mit unserem Stoff sehr vertraut. Die bedeutet aber keinesfalls, dass wir in der besten Situation sind, anderen zum Verständnis dieses Stoffes zu verhelfen. Durch unsere langjährige Beschäftigung mit unserem Fachgebiet erscheinen uns viele Zusammenhänge als so selbstverständlich oder gar trivial, dass wir sie vielleicht nicht einmal mehr aussprechen. Im Bereich der Mechanik ist dies möglicherweise die Tatsache, dass eine physikalische Kraft immer eine Wechselwirkung zwischen zwei Körpern bedeutet; im Bereich der Elektrotechnik vielleicht die Tatsache, dass für Ströme (bzw. fließende elektrische Ladungen) ein Erhaltungssatz gilt. Für Lernende können diese Tatsachen und die Konsequenzen, die sich daraus ergeben, alles andere als selbstverständlich sein.

Hilfreich ist in diesem Kontext das Modell der *Threshold Concepts* von Meyer und Land. Es besagt, dass es in jedem Fachgebiet zentrale Begriffe oder Zusammenhänge gibt, die nicht nur von besonderer Wichtigkeit für das Verstehen des gesamten Fachs sind, sondern (unter anderem) auch die Eigenschaft besitzen, dass der Schritt, sie verstanden zu haben, nicht mehr rückgängig gemacht werden kann. Als PhysikerIn oder ElektrotechnikerIn können wir uns nicht mehr vorstellen, den Begriff des elektrischen Potentials nicht verstanden zu haben. Was den eigenen Arbeitsauftrag angeht, kann sich unser Verständnis davon durch den Einsatz aktivierender Methoden in der Tat wandeln. Wenn das „Vermitteln“ von Inhalten in einer traditionellen

Vorlesung erwiesenermaßen bei einem Großteil der Studierenden nicht zu einem wirklichen Verständnis führt, ist es naheliegend, die Rolle der Lehrenden im Unterstützen des Lernens des Einzelnen zu sehen.

### 4.2 Lehrphilosophie und Lernziele aus fachlicher Sicht

*Der in den Tutorials gewählte, eher induktive Zugang mithilfe qualitativer Fragen (und vom konkreten Phänomen zum Abstrakten fortschreitend) ist zwar sehr anschaulich, aber mir fehlt dabei die detaillierte Auseinandersetzung mit den Annahmen und Näherungen, auf denen das Theoriegebäude basiert. Das muss notwendigerweise am Anfang stehen, denn meine Wissenschaft ist im Kern deduktiv, nicht induktiv aufgebaut.*

Die Darstellung eines Fachs in Lehrbüchern ist in der Tat häufig deduktiv aufgebaut; die historische Entwicklung des Fachs war es in der Regel nicht. Vermutlich ist es deshalb auch für viele Lernende nicht einfach, das Fach in seinem „korrekten“ axiomatischen Aufbau fortschreitend zu verstehen. Viele der zu Grunde liegenden Annahmen (z. B. die Konzentration von elektromagnetischen Eigenschaften auf lokalisierte Bauelemente bei elektronischen Schaltungen) sind erst dann verständlich, wenn grundlegende Konzepte der Theorie bereits verstanden sind. Zudem ist ein grundsätzliches Verständnis von den Zusammenhängen zwischen



der Theorie und den realen physikalischen Systemen notwendig, das häufig erst im Kontext des jeweiligen Fachs erarbeitet werden kann. Für die große Mehrheit der Studierenden ist deshalb ein Ansatz, der von den Phänomenen zur Abstraktion fortschreitet, deutlich erfolgreicher als eine formal „glattere“ axiomatische Darstellung. Entsprechende Fragen können dann jedoch im Anschluss an die Erarbeitung der zentralen Konzepte mit Studierenden diskutiert werden.

*Ein solides qualitatives Verständnis der Lerninhalte ist sicher wertvoll, aber letztlich kommt es doch darauf an, dass unsere Absolventen später Dinge berechnen können. Schade ich ihnen dann nicht, wenn ich auf Kosten der herkömmlichen Rechenaufgaben jetzt verstärkt qualitative Aufgaben bearbeiten lasse?*

Welches Lernziel von größerer Bedeutung ist, das qualitative Verständnis von Begriffen und Zusammenhängen oder die Fähigkeit für gegebene Beispiele algebraische Ausdrücke oder konkre-



te Zahlenwerte zu berechnen, ist eine wichtige Frage. Angesichts der weiten Verbreitung von Software für solche Berechnungen, erscheint es uns umso notwendiger, dass Studierende lernen, passende Modelle auszuwählen, sich über die Anwendungsbereiche und Grenzen dieser Modelle klar zu werden, und erwartete Ergebnisse abzuschätzen. In der Vergangenheit sind Lehrende in naturwissenschaftlichen und technischen Fächern häufig davon ausgegangen, dass sich ein solches qualitatives Verständnis bei den Studierenden von selbst einstellt, wenn sie eine große Anzahl von Berechnungsaufgaben gelöst haben. Wie in Kapitel 2 bereits erwähnt, haben inzwischen viele Untersuchungen gezeigt, dass dies nicht der Fall ist. Es spricht also Einiges dafür, gezielte Maßnahmen für eine Stärkung des qualitativen Verständnisses einzusetzen.

Unabhängig von dieser Entscheidung (hinsichtlich der Gewichtung der unterschiedlichen Lernziele), die jede und jeder Lehrende letztlich selbst treffen muss, deuten verschiedene Studien außerdem darauf hin, dass eine Akzentverschiebung von quantitativen zu qualitativen Aufgaben einerseits eine deutliche Steigerung des qualitativen Verständnisses und andererseits keinen Verlust an der Fähigkeit, quantitative Aufgaben zu lösen, mit sich bringt. In einigen Fällen wurde sogar ein nennenswert besserer Erfolg bei Berechnungsaufgaben nachgewiesen (Meltzer 2002).

### 4.3 Heterogenität der Studierendenschaft

*Ist es überhaupt sinnvoll, diese interaktiven Methoden einzusetzen, wenn ich es mit einer sehr heterogenen Gruppe von Studierenden zu tun habe? Ich überfordere dabei doch die einen und langweile die anderen.*

Die Heterogenität der Studierendenschaft ist ein wichtiger Aspekt, der in der Planung unserer Lehrveranstaltungen berücksichtigt werden muss. Heterogenität ist jedoch eindeutig ein Grund für und nicht gegen den Einsatz der hier beschriebenen Methoden. Denn erstens ist es offensichtlich, dass eine Präsentation von Inhalten durch die Lehrperson noch stärker ein genau bekanntes Niveau an Vorwissen voraussetzt als eine Lernumgebung, in welcher der Stoff von jedem Einzelnen schrittweise erarbeitet oder in kleinen Gruppen diskutiert wird. Zweitens zeigen dies aber auch Daten aus unserem und anderen Projekten (s. auch Kap. 5).

*Findet bei Peer Instruction wirklich Lernen statt, oder reagieren die schwächeren Studierenden nur darauf, wie die Stärkeren antworten, entweder in der ersten Abstimmung oder in der Peer Discussion?*

Dass sich die Studierenden während der ersten Abstimmung gegenseitig beeinflussen können, sollte in der Tat vermieden werden. Dazu ist es wichtig, die Studierenden nachdrücklich zu individuellem Nachdenken aufzufordern und (bei Verwendung

von Handzeichen oder Farbkarten etc.) eine simultane Abstimmung durchzuführen. Hier zeigt sich recht deutlich ein Vorteil der elektronischen Abstimmungssysteme („Clicker“). Interessant ist jedoch zudem die Frage, ob schwächere Studierende in der Peer Discussion kritiklos die Antwort ihrer (vermeintlich) stärkeren Nachbarn übernehmen oder sich durch deren Argumente wirklich überzeugen lassen. Eine Untersuchung dieser Fragestellung hat gezeigt, dass Studierende, die zwischen der ersten und der zweiten Abstimmung ihre Meinung ändern, bei einer nachfolgend gestellten dritten Frage (zum gleichen Thema mit anderem Kontext) in der Mehrheit der Fälle erneut richtig antworten (Smith 2009). Es kann also davon ausgegangen werden, dass durch die Diskussion ein Lerneffekt erreicht wurde.

*Werde ich durch den Einsatz von Peer Instruction oder Tutorials nicht gerade die stärkeren Studierenden benachteiligen? Sie werden dazu gezwungen, den schwächeren Studierenden den Stoff zu erklären, während sie allein selbst viel schneller vorankämen.*

Die Fähigkeit, anderen Menschen fachliche Inhalte zu erklären und in einer wissenschaftlichen Diskussion geeignete Argumente zu finden, wird nach unserer Erfahrung durch den Einsatz aktivierender Methoden geschult. Diese Fähigkeit könnte, gerade mit Blick auf die stärkeren Studierenden, ein sinnvolles (überfachliches) Lernziel Ihrer Lehrveranstaltung sein. Auch in rein fachlicher

Hinsicht profitieren aber gerade stärkere Studierende besonders vom Einsatz der Tutorials, wie unsere Daten (s. Kap. 5) zeigen. Die Gründe dafür liegen vermutlich in der Förderung des eigenen Verständnisses durch das Erklären, in einer tieferen Auseinandersetzung mit dem Stoff, die durch die Fragen anderer Studierender angeregt wird, und im Lernen aus den Fehlvorstellungen der anderen. Als Lehrende kennen wir diesen Effekt bereits aus eigener Erfahrung: Nach der ersten eigenen Vorlesung zu einem anspruchsvollen Thema verstehen wir dies meist deutlich besser als zuvor.

*Erreiche ich mit den Tutorials die Richtigen? Bei Gruppenarbeiten haben bisher immer nur „die Guten“ mitgemacht. Die anderen Studierenden warten ab und schreiben dann die Antworten mit.*

Dies ist tatsächlich eine Gefahr, die umso größer wird, je größer die Gruppe ist. Bei drei oder vier Studierenden pro Gruppe haben wir die Erfahrung gemacht, dass diesem Problem wirksam begegnet werden kann, wenn die Lernbegleiter gezielt inaktive Studierende ansprechen und sie um ihre Meinung bitten. Oft hat diese Inaktivität einen konkreten Anlass (z. B. mangelndes Verständnis der Fragestellung oder einer voran gegangenen Antwort), der sich in der Gruppe mit Unterstützung des Lernbegleiters beheben lässt. Das erwähnte Problem macht deutlich, dass sich die Aufgaben der Lernbegleiter nicht auf rein fachliche Unterstützung beschränken.

#### 4.4 Motivation und Beteiligung der Studierenden

*Machen die Studierenden bei Peer Instruction, Tutorials und Just-in-Time Teaching überhaupt mit? Meine bisherigen Erfahrungen sprechen eher dagegen, d. h. die Bereitschaft, während der Vorlesung einzeln oder in Gruppen selbst Aufgaben zu bearbeiten, war immer sehr gering.*

Auch die Studierenden müssen sich an aktivierende Lehrmethoden gewöhnen. Da diese Methoden zunächst eine größere Anstrengung für sie bedeuten als einfach nur zuzuhören, müssen sie dafür erst motiviert werden. Sinnvoll ist es hierfür, zu Beginn des Semesters mit den Studierenden über die verschiedenen Formen von Lehre und Lernen zu sprechen und zu versuchen, sie vom Erfolg der gewählten Methoden zu überzeugen. Damit dies gelingt, müssen Studierende während des Semesters dann auch erleben, dass sie wichtige Fragen zum Stoff selbst beantworten können. Dies wird unterstützt, wenn die Prüfungen (oder Zwischenklausuren bzw. „Midterms“) Aufgaben enthalten, die sich an den qualitativen Fragestellungen der Peer Instruction-Fragen oder der Tutorials orientieren.

*Das „ELICIT – CONFRONT – RESOLVE“ erscheint mir als eine eher negative Strategie, weil falsche Antworten betont werden. Frustriere ich damit meine Studierenden nicht sehr?*

In der Tat kann der dabei eventuell auftretende Konflikt zwischen der bisher als wahr angenommenen Überzeugung und den neuen Indizien (Beobachtungen, Überlegungen, anderen Herangehensweisen), dass diese Überzeugung fehlerhaft sein könnte, als emotional durchaus unangenehm wahrgenommen werden. Dies kann jedoch einerseits (in der richtigen „Dosis“) sehr motivierend wirken, die Sache jetzt wirklich verstehen zu wollen. Andererseits liegt es an der Lehrperson, mit den Äußerungen der Studierenden wertschätzend umzugehen und zu betonen, dass Fehlvorstellungen meist nachvollziehbar sind und oft nützliche Elemente und Überlegungen enthalten können, auch wenn sie der wissenschaftlichen Sichtweise widersprechen. Da manche Ideen, die heute als Fehlvorstellungen klassifiziert werden, vor einigen Jahrzehnten oder Jahrhunderten die gängige Lehrmeinung waren, kann hier zudem thematisiert werden, dass es auch in der Wissenschaft nicht immer geradlinig und ohne Hindernisse vorwärts geht.

*Just-in-Time Teaching ist sicher eine gute Idee. Ich habe aber die Erfahrung gemacht, dass seit dem Ausbau von E-Learning und der regelmäßigen Aufzeichnung meiner Vorlesungen die Anzahl der Studierenden, die tatsächlich zur Vorlesung kommen, stark abgenommen hat.*

In vielen Fällen verhalten sich Studierende rational und ökonomisch. Wenn sie feststellen, dass der Besuch der Vorlesung gegenüber dem Betrachten

der Vorlesungsaufzeichnung kaum einen Mehrwert bedeutet, wählen sie den für sie einfacheren und vorteilhafteren Weg. (Beim Betrachten der Aufzeichnung können sie jederzeit unterbrechen, zurückspulen, zusätzlich ein Buch heranziehen oder mit Mitstudierenden Kontakt aufnehmen.) Um neben der Aufzeichnung zu bestehen, muss die Vorlesung also mehr bieten als reine Informationsvermittlung. Dies kann teilweise durch besondere Effekte oder eine besonders gute Atmosphäre erreicht werden. Wenn das bessere Verstehen des Stoffs aber ein weiteres Ziel ist, sollte das Arbeiten an den entscheidenden offenen Fragen zu den zuvor durch Texte oder Filme übermittelten Inhalten im Vordergrund stehen. E-Learning bzw. Blended Learning sind hier also nicht als Ersatz für Präsenzlehre zu verstehen, sondern dienen der Stärkung von deren Wirksamkeit durch die Konzentration auf die wesentlichen Fragen während der kostbaren Präsenzzeit.

#### 4.5 Randbedingungen von Lehrveranstaltungen

*Die Tutorials gefallen mir sehr gut, und ich kann mir vorstellen, dass den Studierenden dadurch so manches viel klarer wird. Ich kann in meiner Lehrveranstaltung aber leider nicht so viel Zeit dafür opfern. Sollte ich die Tutorials als freiwillige Hausaufgaben oder im Rahmen eines freiwilligen Tutoriums besonders für die schwächeren Studierenden anbieten?*

Erfahrungsgemäß werden freiwillige unterstützende Zusatzangebote stärker von denjenigen Studierenden angenommen, die solche Angebote weniger nötig haben. Ein solches Angebot würde also die Heterogenität der Gruppe eher erhöhen und dadurch sein Ziel verfehlen. Das bedeutet, dass die Tutorials ein integraler Bestandteil der Lehrveranstaltung sein müssen. Neben der Berücksichtigung im Zeitbudget der Veranstaltung gehört dazu auch, wie bereits erwähnt, dass sich diese Art der Aufgabenstellung in den Klausuren wiederfindet.

Die hierfür investierte Zeit zahlt sich aber in der Regel aus, denn gerade wenn die Grundlagen in den ersten Wochen der Veranstaltung nicht verstanden werden, bleibt die weitere Lehre später im Semester eher wirkungslos und wird damit letztlich zu einer Zeitverschwendung für alle Beteiligten.

*Solche qualitativen Arbeitsblätter wie die Tutorials sind schwierig zu finden, besonders auf Deutsch. Kann ich Materialien, die ich nur in englischer Sprache finde, einfach auf Englisch einsetzen? Dann lernen die Studierenden dabei gleich auch die englischen Fachbegriffe.*

Im Prinzip ist dies möglich und kann also gleichzeitig anderen (überfachlichen) Lernzielen dienen. Es muss aber berücksichtigt werden, dass die Fremdsprache für manche Studierende zusätzliche Schwierigkeiten mit sich bringt. Diese müssen dann wahrgenommen und es muss darauf eingegangen werden, was zusätzliche Zeit in Anspruch nehmen

wird. Besonders für Studierende in der Studieneingangsphase kann selbst der präzise Umgang mit der Muttersprache so ungewohnt sein, dass allein dies ein angemessenes überfachliches Lernziel darstellt.

*Ich habe Tutorials bereits eingesetzt und stelle fest, dass die Studierenden die Arbeitsblätter nie in der vorgesehenen Zeit bearbeiten können und teilweise zu falschen Ergebnissen kommen. Ich muss also in der Vorlesung die wichtigsten Ergebnisse wiederholen und verliere dadurch zusätzlich Zeit.*

Es ist nach unserer Erfahrung nicht ratsam, Ergebnisse aus den Tutorials im Plenum noch einmal zu diskutieren, weil dadurch die Motivation der Studierenden, sich selbst damit zu beschäftigen, untergraben wird. Beim Einsatz der Tutorials in Gruppen von bis zu 25 Teilnehmenden (oder bis zu 50 bei Besetzung mit zwei Tutoren) ist es Aufgabe der Lehrkräfte dafür Sorge zu tragen, dass möglichst keine gravierend falsche Antworten zurückbleiben. Wenn aus zeitlichen Gründen nicht alle Kleingruppen das gesamte Arbeitsblatt vollständig bearbeiten können, ist das nicht immer ein Problem. Häufig reicht das Erarbeiten der jeweiligen Grundlagen eines Themas in der Präsenzzeit aus, um das Vervollständigen des Arbeitsblattes in der Selbstlernzeit zu ermöglichen.

Werden die Tutorials in großen Gruppen (> 50 Teilnehmende) und mit mehr als zwei oder drei Lernbegleitern durchgeführt, kann von dieser Regel vorsichtig abgewichen werden. Da vermutlich keiner der Lernbegleiter mehr alle Studierenden im

Blick hat und eine zeitnahe Abstimmung schwierig wird, haben wir in solchen Fällen die Gruppenarbeit in größeren Abständen unterbrochen und im Plenum Hinweise für einzelne Fragen gegeben oder einzelne Ergebnisse betont. Auf keinen Fall jedoch sollten alle Fragen der Reihe nach noch einmal frontal beantwortet werden.

Aus ganz ähnlichen Gründen raten wir sehr nachdrücklich davon ab, Musterlösungen zu den Tutorials zu erstellen und unter den Studierenden zu verbreiten. Auch wenn die Nachfrage danach seitens der Studierenden oder der Lernbegleiter immer wieder aufkommt, lehnen wir dies sehr klar ab. Ziel der Tutorials ist es unter anderem, den Studierenden zu ermöglichen, sich mit ihren Vorstellungen zum Thema auseinander zu setzen und Antworten auf wesentliche Fragen zum Stoff selbst zu erarbeiten. Dieser Prozess würde in vielen Fällen vermutlich verhindert, wenn Musterlösungen zu den Tutorials zur Verfügung stünden. Darüber hinaus könnten diese nie der Vielfalt möglicher richtiger Antworten Rechnung tragen und würden eine Eindeutigkeit der Formulierung suggerieren, die bei vielen der Fragen nicht gegeben ist.

*Tutorials sind keine neue Idee. Wir haben an unserer Hochschule schon seit Jahren so genannte Tutorien, die von Studierenden höherer Semester geleitet werden und in denen auf die Probleme der Studierenden in den Grundlagenfächern eingegangen wird. Was ist an dem hier beschriebenen Vorgehen denn anders?*

Eine neue Idee sind die Tutorials tatsächlich nicht. Der in ihnen verfolgte Ansatz des so genannten sokratischen Dialogs ist über 2000 Jahre alt. Noch relativ wenig verbreitet ist jedoch die Praxis, einen solchen Dialog als integralen Bestandteil einer Lehrveranstaltung zu ermöglichen, wie dies mithilfe der Tutorials (oder auch Peer Instruction) getan wird. Die wesentlichen Unterschiede zwischen den Tutorials als Lehrform und traditionellen Übungsgruppen und Tutorien, wie sie an vielen Hochschulen in Deutschland zu finden sind, bestehen zum einen im hohen Grad an selbständiger Arbeit der Studierenden in der Übungsgruppe (und der damit veränderten Rolle der Übungsgruppenleitung) sowie in der speziellen Ausrichtung der Arbeitsmaterialien auf die Überwindung spezifischer, weit verbreiteter Verständnisschwierigkeiten, die den Lernenden häufig selbst nicht bewusst und deshalb auch nicht Gegenstand der von ihnen selbst gestellten Fragen sind. Selbstverständlich kommt es auf den Namen dieser Lehrform und der verwendeten Materialien nicht an. Andere Ansätze, die ähnliche Ziele verfolgen, sind im Bereich der Physik zum Beispiel *Activity-Based Physics Tutorials*, *Cooperative Problem Solving*, *Real-Time Physics* oder *Workshop Physics*. In den Fächern Elektrotechnik und Mechanik sind uns derzeit keine vergleichbaren Materialien bekannt.

*Für den Einsatz von Tutorials in der hier beschriebenen Form (wie auch für andere betreuungsin-tensive Lehr/Lern-Formate) hat unsere Hochschule nicht genug Lehrpersonal. Soll ich versuchen,*

*eine Gruppe von 60 Studierenden in einem Raum allein zu betreuen?*

Mehr als die erwähnten ca. 25 Studierenden zu betreuen, fällt meist auch geübten Tutorial-Lehrenden schwer. Die Gefahr, dass Studierende mit ihren Fragen allein nicht weiterkommen und dies als frustrierend erleben, ist dann ziemlich groß. Dies kann schnell zu mangelnder Akzeptanz durch die Studierenden und zum Scheitern der Methode führen. Es sollte also versucht werden, zusätzliche „Lernbegleiter“ einzusetzen. Dies können möglicherweise bezahlte studentische TutorInnen sein. In bestimmten Situationen bietet es sich aber auch an, fortgeschrittene Studierende im Rahmen einer Seminarveranstaltung zu (hochschul)didaktischen Themen als Lernbegleiter in Grundlagenfächern einzusetzen. Die Vergütung durch akademische Leistungspunkte ist besonders dann gerechtfertigt, wenn ihre Tutorentätigkeit nur einen Teil der Seminararbeit ausmacht und in erster Linie ihrer eigenen Weiterentwicklung dient (zum Beispiel da der Einsatz nur wenige Male innerhalb eines Semesters erfolgt). Voraussetzung sollte bei beiden Varianten sein, dass die jeweiligen Studierenden die gleiche Lehrveranstaltung in einem früheren Semester erfolgreich abgeschlossen haben und eine intensive Vorbereitung in fachlicher und fachdidaktischer Hinsicht erfahren. Neben einem soliden Verständnis des Stoffs sind nämlich noch zwei weitere Aspekte wichtig: Die Lernbegleiter sollten in der Lage sein, die Schwierigkeiten der Lernenden wahrzunehmen, und sie sollten den didaktischen

Aufbau der Materialien kennen. Wenn z. B. an einer Stelle in den Tutorials eine Studierendengruppe eine falsche Antwort gibt, kann es je nach der Strategie des Tutorials sinnvoll sein, dies gleich zu klären oder aber zu warten, ob sich die Frage nicht an einer späteren Stelle von selbst klärt.

Die nachfolgenden Fragen und Aufgabenstellungen sollen Lehrenden in technischen Fächern die Gelegenheit geben, sich mit dem Thema dieses Kapitels anhand ihrer eigenen Lehrsituation weiter auseinander zu setzen.

### Zum Weiterdenken

*Welche der in diesem Kapitel aufgeführten häufigen Fragen erscheinen Ihnen auch hinsichtlich Ihrer Lehrsituation als relevant und wichtig? Um sich mit den für Sie bedeutungsvollen Aspekten auseinanderzusetzen, könnten die folgenden Überlegungen hilfreich sein.*

- Halten Sie die gegebene Antwort für überzeugend? Wenn nein, warum nicht?
- Welche Erfahrungen oder Annahmen lassen Sie an der Richtigkeit der Antwort zweifeln?
- Welche Art von Belegen könnte Sie prinzipiell davon überzeugen, dass die entsprechende Methode auch in Ihrer Lehrveranstaltung sinnvoll einsetzbar wäre?
- Welche Ideen haben Sie selbst, um die jeweilige Methode für Ihre Lehrsituation anwendbar zu machen?

## 5. Untersuchungsergebnisse zur Wirksamkeit der Methoden

- ▶ Lassen sich mit den hier beschriebenen Methoden wirklich bessere Ergebnisse in der Lehre erzielen?
- ▶ Und wenn ja, profitieren stärkere und schwächere Studierende in gleichem Maße von diesen Methoden?

Um die Wirksamkeit von Veränderungen in der Lehre zu beurteilen, verlassen sich Lehrende häufig auf ihre persönliche Einschätzung. Solche subjektiven Eindrücke geben oft Hinweise darauf, wie Studierende auf die durchgeführten Maßnahmen reagiert haben, und sind deshalb ein wichtiger Teil jeder Evaluation von Lehrinnovationen. Einen Schritt weiter gehen Erhebungen der Wahrnehmungen der Studierenden durch Fragebögen, die einerseits gezielt auf die Veränderungen der Lehre fokussieren, andererseits aber auch einen Vergleich mit dem früheren Angebot ermöglichen. Beide Formen der Evaluation reichen jedoch nicht aus, um die Wirksamkeit einer Methode im Sinne eines erhöhten Lernzuwachses nach wissenschaftlichen Maßstäben zu prüfen.

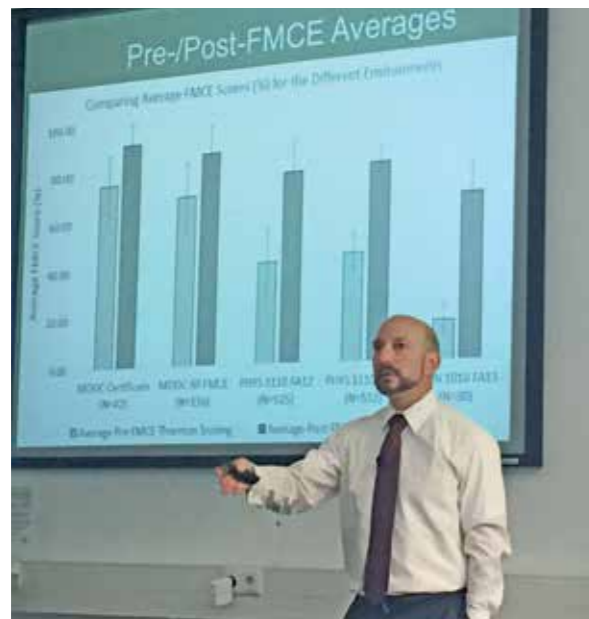
Auch die Ergebnisse von (in den Grundlagenfächern meist schriftlichen) Prüfungen helfen hier kaum weiter. Diese messen zwar, mehr oder weniger gut, den Lernstand der Studierenden nach Absolvieren der entsprechenden Lehrveranstal-

tung; sie enthalten aber in der Regel von Jahr zu Jahr neue Aufgabenstellungen, deren Gleichwertigkeit nicht akkurat festgestellt werden kann. Zudem wird beim Vergleich von Prüfungsergebnissen implizit davon ausgegangen, dass die Studierenden der beiden Jahrgänge oder Vergleichsgruppen unter gleichen Anfangsbedingungen, insbesondere bezüglich ihrer Vorkenntnisse, gestartet sind.

In den Hochschulfachdidaktiken der MINT-Fächer hat sich daher vor allem im englischen Sprachraum die Bewertung der Wirksamkeit von Lehre mithilfe so genannter Concept Inventories durchgesetzt. Damit sind standardisierte Tests gemeint, die mit qualitativen Fragen (meist im Multiple-Choice-Format) das konzeptuelle Verständnis der Studierenden erheben. Zur Beantwortung dieser Fragen sind in der Regel also keine oder nur sehr einfache Rechnungen notwendig. Der Einsatz der identischen Tests Jahr für Jahr im gleichen Kurs, oft sogar an vielen verschiedenen Hochschulen im In- und Ausland, wird dadurch ermöglicht, dass die individuellen Ergebnis-

se keinen Einfluss auf die Noten der Studierenden haben. Auf diese Weise wird vermieden, dass sich Studierende gezielt auf diese Tests vorbereiten oder gar einzelne Antworten auswendig lernen. Sofern der Einsatz der Tests den Studierenden gegenüber erläutert und begründet wird, nehmen die Studierenden nach unseren Erfahrungen die Bearbeitung der Tests ernst und geben authentische Antworten.

Bei der Verwendung solcher Tests zur Messung des Lernzuwachses mit dem Ziel, unterschiedliche Lehrveranstaltungen und Lehrmethoden zu vergleichen, ist es notwendig, bereits zu Beginn der Lehrveranstaltung einen Test einzusetzen, um relevante Vorkenntnisse der Studierenden zu bestimmen. Nach Abschluss der Lehre im entsprechenden Fach



oder Teilgebiet wird dann ein weiterer Test eingesetzt. Hierbei lassen sich hinsichtlich der erhobenen Daten zwei verschiedene Fälle unterscheiden. In manchen Fächern bietet es sich an, den gleichen Test vor und nach der Lehrveranstaltung zu stellen. In anderen Fächern, in denen die Terminologie zur Beschreibung relevanter Aufgabenstellungen erst in der Veranstaltung eingeführt wird, sind unterschiedliche Tests notwendig.<sup>6</sup> Im Folgenden stellen wir Ergebnisse aus zwei Lehrveranstaltungen mit interaktiven Lehrmethoden an der TUHH vor und vergleichen diese mit Ergebnissen aus traditioneller Lehre. In einem der beiden Fälle bietet sich ein Vergleich mit Daten aus der Literatur an.

### 5.1 Beispiel 1: Physik für Ingenieure

In einem kleineren Studiengang der TUHH mit weniger als 50, in manchen Jahren auch unter 30 Studierenden, wurden im Fach Physik schon vor Beginn des Projekts „Aktives Lernen im Ingenieurstudium“ die drei oben erwähnten Lehrmethoden (*Peer Instruction*, *Just-in-Time Teaching* und *Tutorials*) zur Unterstützung des qualitativen Verständnisses eingeführt. Über mehrere Jahre hinweg wurde zu Beginn und am Ende des Semesters ein Diagnostiktest, das so genannte Force Concept Inventory (FCI), eingesetzt. Dieser Test enthält 30 Multiple-Choice-Fragen, die das Verständnis des

<sup>6</sup> Siehe hierzu auch: J. Direnga et al., The discriminative learning gain: a two-parameter quantification of the difference in learning success between courses, *Australasian Journal of Engineering Education* 23, 71–82 (2018).

Newton'schen Kraftbegriffs im Kontext mehr oder weniger alltäglicher Problemstellungen überprüfen. Es wird also bewusst auf komplizierte technische Situationen sowie die Verwendung von Fachbegriffen oder nicht allgemein verständlichen Symbolen in der Problemstellung verzichtet. Hierdurch wird der Test auch zu Beginn der Veranstaltung einsetzbar.

Als Vergleichsmaß für solche gekoppelten Messungen vor und nach der Lehrveranstaltung mit identischen Pre- und Post-Tests hat sich der so genannte relative Lernzuwachs durchgesetzt (Hake 1998).<sup>9</sup> Ihm liegt die Idee zugrunde, dass weder der Lernstand am Ende noch der Lernzuwachs (d. h. die Differenz der Lernstände am Anfang und am Ende der Veranstaltung) einen fairen Vergleich unterschiedlicher Kohorten oder Lehrveranstaltungen ermöglichen. Im ersteren Fall würden Gruppen benachteiligt, die mit besonders geringen Vorkenntnissen starten; in letzterem solche mit besonders guten Vorkenntnissen (da das Ergebnis im Post-Test bei 100 % gedeckelt ist). Hake hat den relativen Lernzuwachs  $g$  deshalb als den Quotient aus dem in der Lehrveranstaltung tatsächlich erreichten Zuwachs und dem rechnerisch möglichen Zuwachs (bei vollständig richtiger Beantwortung aller Fragen durch alle Testteilnehmer) definiert. Dies führt zu der Formel

$$g = \frac{x_{\text{Ende}} - x_{\text{Anfang}}}{100\% - x_{\text{Anfang}}}$$

Die Größe  $x$  bezeichnet dabei jeweils den Anteil der richtig beantworteten Fragen (in Prozent). Der relative Lernzuwachs kann auf diese Weise für einzelne Studierende berechnet werden. Für den hier beschriebenen Zweck wird in der Regel mit den Mittelwerten für die gesamte Studierendengruppe gerechnet, wobei in der Mittelung korrekterweise nur die Studierenden berücksichtigt werden, die an beiden Testdurchführungen teilgenommen haben. Eine von Hake bereits vor über 20 Jahren durchgeführte Studie zeigt, dass Physik-Lehrveranstaltungen nach traditionellem Muster, d. h. bestehend aus Vorlesungen oder frontalem Unterricht, quantitativen Übungsaufgaben, die von einer Lehrperson vorgerechnet werden, und ggf. den üblichen Laborversuchen, im Mittel einen relativen

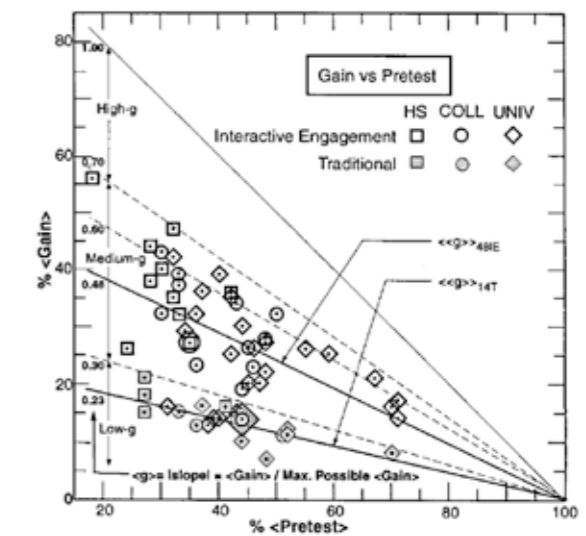


Bild 3: Schaubild aus (Hake 1998). Die eingezeichneten Geraden entsprechen Punkten mit gleichem relativem Lernzuwachs.

Lernzuwachs von etwa 0,25 erreichen, mit einer Streuung von nur wenigen Hundertstel Punkten. Lehrveranstaltungen, die aktivierende Methoden einsetzen, erzielen mit einem Wert von etwa 0,5 im Mittel hingegen deutlich bessere Resultate, weisen aber auch eine deutlich höhere Streuung auf. Die Ergebnisse der Studie von Hake sind in Bild 3 dargestellt, in dem der absolute Lernzuwachs gegenüber dem Vortestergebnis jeweils als Mittelwert einer Kohorte aufgetragen ist. Ein Punkt im Diagramm entspricht damit einem ganzen Kurs bzw. einer Vorlesung an einer High School (HS), einem College (COLL) oder einer Universität (UNIV). Unsere eigenen, vor und während des Projekts *Aktives Lernen im Ingenieurstudium* gewonnenen Daten stimmen mit den Ergebnissen von Hake weitgehend überein. Der mit dem gleichen Test wie bei Hake bestimmte relative Lernzuwachs lag in der erwähnten Veranstaltung mit aktivierenden Lehrmethoden über mehrere Jahre hinweg zwischen 0,4 und 0,5, mit zwei Ausreißern nach unten bzw. oben von 0,33 und 0,69. Zur etwa gleichen Zeit erreichte eine traditionell unterrichtete Lehrveranstaltung an der TUHH einen Wert von 0,25. Vier weitere Veranstaltungen mit traditionellen Vorlesungen, die durch den Einsatz von Tutorial-Arbeitsblättern ergänzt wurden, erzielten Werte zwischen 0,18 und 0,34. Die Unterschiede zu den im Mittel deutlich erfolgreicherer Lehrveranstaltungen mit umfassenderen aktivierenden Lehrformen liegen zum einen im Fehlen der Komponenten Peer Instruction und Just-in-Time Teaching, zum anderen aber vermutlich auch in den weniger

deutlich herausgestellten Querbezügen zwischen den Vorlesungsinhalten und den Tutorial-Arbeitsblättern. Wie im vorigen Kapitel bereits erwähnt, werden qualitative (und damit eher „ungewöhnliche“) Problemstellungen in Aufgabenblättern oder Gruppenübungen von den Studierenden besonders dann ernst genommen, wenn Vorlesungen und Prüfungsaufgaben dies auch widerspiegeln. Dies war nur bei der hier zuerst erwähnten Lehrveranstaltung gegeben.

## 5.2 Beispiel 2: Technische Mechanik

Das Fach Mechanik gilt als eines der schwierigsten Fächer in der Studieneingangsphase des Maschinenbaus und anderer Studiengänge. Gerade in diesem Fach ist es also von Interesse, ob die eingeführten Änderungen in der Gestaltung der Lehrveranstaltung zu einer nachweisbaren und nennenswerten Verbesserung des Lernerfolgs geführt haben.

Zu diesem Zweck wurden in einer Lehrveranstaltung mit in der Regel über 500 Studierenden 12 Jahre lang Pre- und Post-Tests eingesetzt. Als Post-Test wurde das *Concept Assessment Tool for Statics* (CATS, früher *Statics Concept Inventory*, SCI) ausgewählt. Wegen der darin enthaltenen Fachbegriffe („Freikörperbild“, „Lagerreaktion“, „Reibungskoeffizient“, usw.), deren Bedeutung zu Beginn des Semesters nicht vorausgesetzt werden kann, wurde als Pre-Test wie im vorangegangenen Beispiel das *Force Concept Inventory* eingesetzt.

Damit sind die Punktwerte von Pre- und Post-Test nicht direkt miteinander vergleichbar – tatsächlich sind die Post-Test-Werte aufgrund des erheblich schwierigeren Tests meist etwas geringer – und der von Hake eingeführte relative Lernzuwachs lässt sich in diesem Fall nicht anwenden. Es musste also ein anderes Maß für die Wirksamkeit der Lehrveranstaltung gefunden werden.

Ein Vergleich der Mittelwerte der im Eingangstest richtig beantworteten Aufgaben (im FCI) zeigt, dass die Studierenden der Jahrgänge mit aktivierenden Lehrmethoden (2009-2012, Mittelwert 46%) ihr Studium tendenziell eher mit etwas geringeren Vorkenntnissen in der Mechanik begonnen haben als die der vorangegangenen Jahrgänge (2007-2008, Mittelwert 50%), die traditionelle Vorlesungen besuchten. Dem gegenüber liegen die entsprechenden Werte im Abschlusstest (CATS) bei den Veranstaltungen mit aktivierenden Lehrmethoden (Mittelwert 44%) nennenswert höher als bei den traditionell unterrichteten Veranstaltungen (Mittelwert 31%). Hierbei wurden nur die Ergebnisse derjenigen Studierenden berücksichtigt, die an beiden Tests teilgenommen haben. Diese Verbesserung ist statistisch signifikant und liegt mit einer Effektstärke von etwa 0,6 bis 0,8 im oberen Mittelfeld didaktischer Innovationen in den Ingenieurwissenschaften. Betrachtet man die Anzahl der erfassten Studierenden, wird jedoch deutlich, dass die tatsächliche Wirkung der Maßnahme vermutlich deutlich größer ist, als die Zahlen andeuten. Während in den Jahrgängen mit traditioneller

Lehre im Mittel unter 150 Studierende an beiden Tests teilgenommen haben, sind dies im Mittel der Jahrgänge mit aktivierender Lehre etwa zweieinhalb Mal so viele (375). Unter der Annahme, dass es üblicherweise eher die stärkeren Studierenden sind, die gegen Ende des Semesters noch regelmäßig zur Vorlesung kommen, wurde in unserem Projekt mit einer größeren Bandbreite, also im Mittel eher schwächeren Studierenden ein deutlich besseres Lernergebnis erzielt.

Gerade diese Überlegungen werfen jedoch eine weitere Frage auf. Stellen die hier beschriebenen Maßnahmen zur Aktivierung der Studierenden in der Lehre eine Absenkung des Leistungsniveaus dar, die vielleicht den schwächeren Studierenden kurzfristig hilft, aber die Leistungstarken in ihrer Entwicklung hemmt? Dazu wurden die Ergebnisse des erwähnten Abschlusstests nach den Eingangstestwerten der teilnehmenden Studierenden aufgeschlüsselt. Die Grafik in Bild 4 zeigt die Mittel-

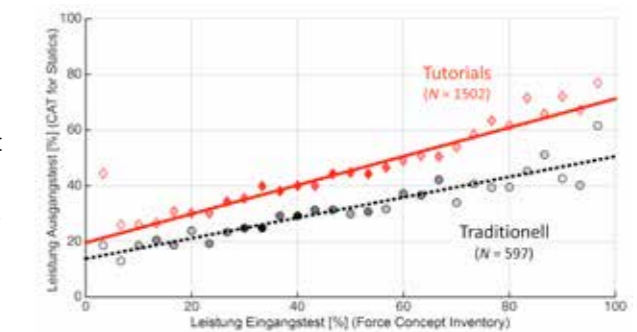


Bild 4: Mittelwerte im Abschlusstest für Studierende mit gleichem Eingangstestergebnis in Abhängigkeit von diesem, sowie Ausgleichsgerade, für beide Lehrformen

werte der Nachtstestergebnisse aller Studierenden, die im Eingangstest ein bestimmtes Niveau erreicht haben, getrennt nach Jahrgängen mit traditioneller Lehre (schwarze Kreise) und solchen mit aktivierenden Lehrmethoden (rote Rauten). Mithilfe einer linearen Regression (gewichtet nach der Häufigkeit der jeweiligen Vortestergebnisse) wurden für die beiden Lehrmethoden getrennte Ausgleichsgeraden eingezeichnet.

Wie die Grafik zeigt, erreichen die Studierenden in Lehrveranstaltungen mit aktivierenden Lehrformen unabhängig von ihrem Eingangsniveau im Mittel höhere Werte im Abschlusstest als Studierende mit gleichen Eingangsvoraussetzungen in Lehrveranstaltungen mit traditionellen Lehrformen. Der Unterschied liegt zwischen etwa sechs Prozentpunkten am unteren Ende und etwa 17 am oberen Ende des Leistungsspektrums. Dadurch wird nicht nur deutlich, dass die durchgeführten Maßnahmen Studierenden aller Leistungsstufen zu Gute kommen, sondern auch, dass tendenziell die leistungsstärkeren Studierenden noch stärker gefördert werden. Dies ist bei genauerer Betrachtung der Tutorials nicht verwunderlich, stellen diese doch recht hohe Anforderungen (nicht zuletzt hinsichtlich ihrer Lesekompetenz) an die Studierenden. Die angeführten Daten lassen jedoch einen eingangs genannten potentiellen Einflussfaktor unberücksichtigt: die Person der oder des Lehrenden. Aus diesem Grund wurden die Daten noch einmal nach den drei beteiligten Lehrenden aufgeschlüsselt (siehe Bild 5). Die drei schwarzen

Linien (traditionelle Lehre) liegen deutlich näher beieinander und klar unterhalb der beiden roten Linien (für aktivierende Lehre), obwohl die beteiligten Lehrenden in zwei der drei Fälle die gleichen waren. Die Analyse zeigt also, dass die erzielten Ergebnisse deutlich stärker von den eingesetzten Lehr/Lern-Methoden beeinflusst werden als von der Person des Lehrenden.

Abschließend lässt sich sagen, dass die vor und während des Projekts Aktive Lehre im Ingenieurstudium gesammelten Daten ein klares Bild zeichnen: Die hier eingesetzten Methoden *Tutorials*, *Peer Instruction* und *Just-in-Time Teaching* führen zu nachweisbaren und nennenswerten Steigerungen der Wirksamkeit universitärer Lehre in Bezug auf qualitatives Verständnis, insbesondere wenn mehr als eine der genannten Methoden eingesetzt wird und die verschiedenen Komponenten der jeweiligen Lehrveranstaltung (einschließlich der Prüfungen) zu einem kohärenten Ganzen zusammengefügt werden.

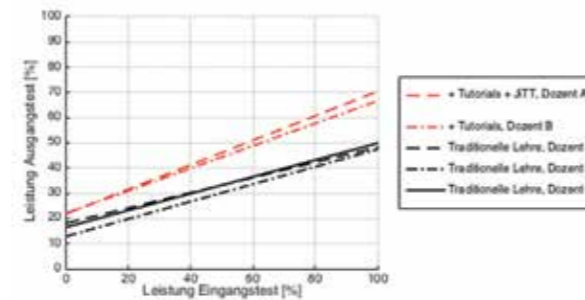


Bild 5

## 6. Fazit und Ausblick

Im vorliegenden Leitfaden haben wir anhand eines Beispiels aus dem Fach Technische Mechanik dargestellt wie spezifische Fehlvorstellungen das Verständnis des Lehrstoffes im Grundlagenbereich der Ingenieurwissenschaften beeinträchtigen können. Es wurden dann drei an der TUHH mehrfach erprobte Vorgehensweisen dargestellt, wie solchen Fehlvorstellungen in der Lehre begegnet werden kann. Eine Reihe von Bedenken, die Lehrende im Zusammenhang mit den genannten Methoden häufig äußern, wurden diskutiert und hoffentlich abgeschwächt oder ausgeräumt. Daran anschließend haben wir die Ergebnisse von zwei Untersuchungen präsentiert, welche die Wirksamkeit der Methoden bestätigen. In diesem letzten Kapitel soll nun das bisher Vorgestellte in den Kontext weiterer Entwicklungen innerhalb und außerhalb unserer Hochschule eingeordnet werden.

Die im Rahmen unseres Projektes erprobten Methoden waren ausgewählt worden, weil sie sich besonders für die Lehre in großen Veranstaltungen in der Studieneingangsphase eignen. Einiges, was hier vorgestellt wurde, ist inzwischen unter ähnlichen Bedingungen innerhalb der TUHH variiert und weiterentwickelt worden. So wurde die Idee eines Feedbacks von den Studierenden an die Lehrenden, die sich sowohl in Peer Instruction als auch im Just-in-Time Teaching wiederfindet, auch auf Phasen des klassischen Frontalvortrags übertragen.

In anderen Bereichen des ingenieurwissenschaftlichen Studiums werden auch an der TUHH weitere Formen aktiven Lernens erprobt und eingesetzt. Als Ergänzung und Kontrast zu den überwiegend theoretischen Inhalten der Grundlagenveranstaltungen werden (als Teil des Studienplans oder als zusätzliches Angebot) Projekte eingerichtet, bei denen Studierenden in häufig interdisziplinären Gruppen ein ganzes Produkt konzipieren, entwickeln und als Prototyp fertigen. In kleineren Lehrveranstaltungen im Masterstudium wird zum Beispiel häufig das problemorientierte Lernen (PBL für *Problem-Based Learning*) oder das Arbeiten anhand von Fallstudien eingesetzt.

Untersuchungen zur Wirksamkeit aktivierender Lernformen zeigen weltweit ein nahezu eindeutiges Ergebnis. Lehre, welche die Studierenden zum Mitarbeiten (und vor allem Mitdenken) anregt, ihre bereits existierenden Vorstellungen aufgreift und eine kontinuierliche intellektuelle Auseinandersetzung mit den Inhalten fördert, führt zu deutlich besseren Lernerfolgen als ein klassischer Vortrag auch besonders begabter Lehrender. Interessant ist, dass dieses Ergebnis mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht darauf zurückzuführen ist, dass gegenteilige Erfahrungen gar nicht publiziert werden (Freeman 2014). Selbst vereinzelte Studien, die weniger klare Ergebnisse zeigen, sind mit unseren Schlussfolgerungen vereinbar, wenn Fälle

von Aktivierung ohne Fokus auf das Verständnis der Studierenden eliminiert werden (Andrews 2011).

Die genannte Einschränkung ist nur ein Beispiel, das zeigt, dass es nicht um die unreflektierte Anwendung eines festen Schemas in der Lehre geht, sondern dass Einstellungen der Beteiligten im Bezug auf das Lehren und Lernen eine wichtige Rolle spielen. Die Hochschuldidaktik und -fachdidaktik in technischen Fächern befasst sich deshalb inzwischen verstärkt mit solchen Einstellungen sowohl der Lernenden als auch der Lehrenden, für die im Englischen häufig die Begriffe *epistemological beliefs*, *approaches to teaching* und *learning attitudes* verwendet werden. Ergebnisse solcher Studien deuten darauf hin, dass diese Einstellungen das Lehren und Lernen beeinflussen können, und dass die erlebte Lehre bei Studierenden wiederum die Einstellungen zum Lernen beeinflusst, sehr häufig in negativer Weise (Adams 2006).

Aus den eben beschriebenen Ergebnissen folgen unmittelbar zwei Konsequenzen für die Hochschulen: Auf der Ebene einzelner Lehrveranstaltungen wird deutlich, dass aktivierende und auf Verständnis abzielende Lehrmethoden erklärt und für die Studierenden motiviert werden müssen. Dazu gehört zunächst eine Erläuterung, warum in einer gegebenen Lehrveranstaltung bestimmte Lehrformen gewählt wurden. Wesentlich ist aber auch eine Prüfung am Ende der Semesters (oder eine Kombination von formativem und summativem

Assessment, also Feedback bereits im Verlauf der Veranstaltung), welche die behaupteten Lernziele bestätigt und nicht widerlegt. Eine ausführliche Diskussion dieser Thematik findet sich in einer früheren Broschüre in dieser Reihe (ZLL 2014).

Im Hinblick auf die Weiterqualifizierung der Lehrenden zeigt sich, dass es nicht nur darum geht, ihnen einen „hochschuldidaktischen Werkzeugkoffer“ voller verschiedenartiger Methoden für jede erdenkliche Lehrsituation anzubieten. Lehrende müssen die Gelegenheit bekommen, ihre Vorstellungen vom Lehren und Lernen zu hinterfragen und gegebenenfalls zu modifizieren. Die Hochschuldidaktik muss also selbst das tun, was sie von den Lehrenden in ihrer eigenen Lehre erwartet: die bereits vorhandenen Vorstellungen der Lernenden berücksichtigen und einen Wandel ihres Denkens ermöglichen. Diese Betrachtung hochschuldidaktischer Maßnahmen unter dem Blickwinkel des Conceptual Change hat sich andernorts bereits als sehr produktiv erwiesen (Walter 2015). Sie bildet auch an der TUHH ein wichtiges Element der Qualitätsentwicklung.

## 7. Literatur

- Adams 2006** | W. Adams et al., New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey, *Phys. Rev. PER* 2, 010101 (2006)
- Andrews 2011** | T. Andrews et al., Active Learning Not Associated with Student Learning in a Random Sample of College Biology Courses, *CBE Life Sciences* 10, 394-405 (2011).
- Brose 2011** | A. Brose und C. Kautz, Identifying and Addressing Student Difficulties in Engineering Statics, *Proceedings of the 1st World Engineering Flash Week*. Lisbon, Portugal (2011).
- Freeman 2014** | S. Freeman et al., Active learning increases student performance in science, engineering and mathematics, *PNAS* 111, 8410-8415 (2014).
- Hake 1998** | R. Hake, Interactive-Engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *Am. J. Phys.* 66, 64-74 (1998).
- Kautz 2014** | C. Kautz, Verständnisschwierigkeiten und Fehlvorstellungen in Grundlagenfächern des ingenieurwissenschaftlichen Studiums. In: *Perspektiven angewandter Hochschuldidaktik – Studien und Erfahrungsberichte*. Report – Beiträge zur Hochschuldidaktik, hg. von M. Rentschler und G. Metzger, 44: 81–131. Aachen.
- Lasry 2008** | N. Lasry, E. Mazur und J. Watkins, Peer instruction: From Harvard to the two-year college. *Am. J. Phys.* 76, 1066 (2008).
- Mazur 1997** | E. Mazur, *Peer instruction: a user's manual*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 1997.
- McDermott 1991** | L. C. McDermott, Millikan Lecture

- 1990, What we teach and what is learned – Closing the gap, *Am. J. Phys.* 59, 301–315 (1991).
- McDermott 1998** | L. C. McDermott, P. Shaffer, und Physics Education Group, *Tutorials in Introductory Physics*. Preliminary Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, 1998.
- Meltzer 2002** | D. Meltzer und K. Manivannan, Transforming the lecture-hall environment: The fully interactive physics lecture, *Am. J. Phys.* 70, 639–654 (2002).
- Novak 1999** | G. Novak et al., *Just-In-Time Teaching: Blending Active Learning with Web Technology*, Prentice Hall, Upper Saddle River, 1999.
- Posner 1982** | G. Posner et al., Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education* 66, 211–227 (1982).
- Smith 2009** | M. Smith et al., Why Peer Discussion Improves Student Performance on In-Class Concept Questions, *Science* 323, 122–124 (2009).
- Steif 2005** | P. Steif und J. Dantzler, A Statics Concept Inventory: Development and Psychometric Analysis, *J. Eng. Educ.* 94, 363–371 (2005).
- Waldherr 2014** | F. Waldherr und C. Walter, *didaktisch und praktisch – Ideen und Methoden für die Hochschullehre*. 2. Aufl., Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart.
- Walter 2015** | C. Walter und C. Kautz, "Conceptual Change" as a guiding principle for the professional development of teaching staff, *Proc. of the ASEE Annual Conference and Exposition*, Seattle, 2015.
- Zentrum für Lehre und Lernen (ZLL) 2014** | hier: K. Billerbeck, A. Tscheulin, P. Salden, "Auf dem Prüfstand", Hamburg 2014.



