

Research on student understanding as a guide for the development of instructional materials in introductory engineering courses

Andrea Brose
Christian H. Kautz

Hamburg University of Technology (TUHH)

Engineering education at Hamburg-Harburg

- TUHH
 - primarily engineering school
 - publicly funded
 - about 5000 students
- Group
 - engineering education at TUHH
 - modeled after research in physics education in the US
 - externally funded project:



Active Learning in Engineering Education

NORDMETALL
Stiftung

Active Learning in Engineering Education

- Purpose
 - improve retention of engineering students
- Background
 - earlier study suggests retention is related to quality of instruction
- Focus
 - active learning in introductory engineering courses
 - Mechanics
 - Thermodynamics
 - DC and AC Circuits
- Approach
 - investigate student understanding of fundamental concepts
 - use results to guide the development of instructional materials and improve instruction



Goals for this talk

- ✓ Context
- Methodology
- Example of implementation
- Argument for its success

Methodology: Three-step process

1. Identification of student difficulties

- analysis of students' written responses in
 - homework assignments
 - examinations
- diagnostic tests
- interviews

2. Developing instructional material addressing identified difficulties

- tutorial worksheets
- interactive lecture questions

3. Evaluation through

- exam questions
- diagnostic tests

Example – Step 1: Identification (1/3)

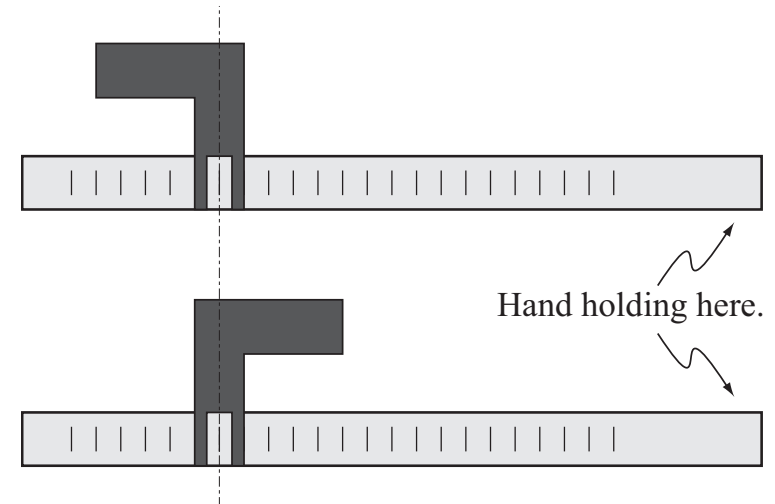
- Diagnostic tests:
 - Force Concept Inventory (FCI) by Hestenes et al. (1992)
 - Static Concept Inventory (SCI) by Steif and Dantzler (2005)
- Identified the most difficult concept covered by the SCI
- Interviews:
 - since summer 2009: nine volunteers
 - interviewees among the higher achieving students as measured by the FCI and SCI
 - interview of about one hour
 - students were asked to think ‘out loud’

Example – Step 1: Identification (2/3)

A movable Γ -shaped object can be mounted in one of two ways: with the overhanging branch directed along the beam *away from* or *towards* the person.

Interview task:

Imagine holding the end of the beam. Would you feel a difference in your hand while holding the slider-and-beam depending on whether the slider is directed away from or towards your hand?



Example – Step 1: Identification (2/3)

A movable L -shaped object can be mounted in one of two ways: with the overhanging branch directed along the beam *away from* or *towards* the person.

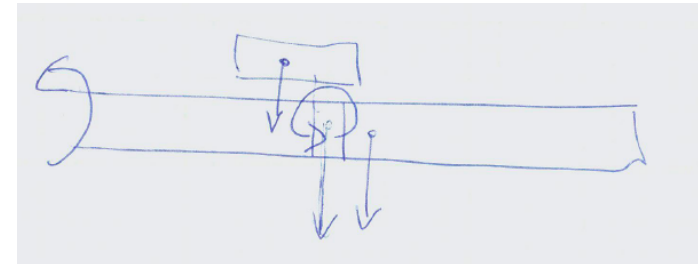
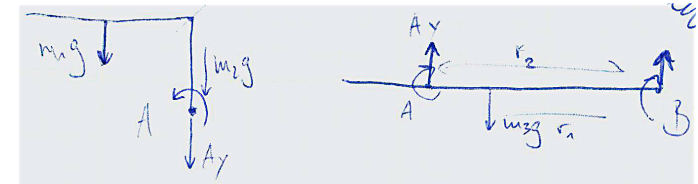
Interview task:

Imagine holding the end of the beam. Would you feel a difference in your hand while holding the slider-and-beam depending on whether the slider is directed away from or towards your hand?



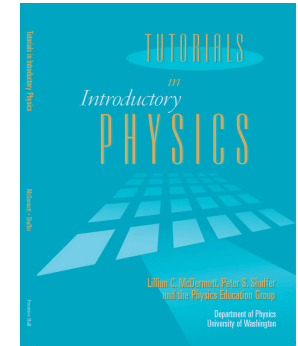
Example – Step 1: Identification (3/3)

- Identified three misconceptions
 - belief that forces and moments are interchangeable
 - failure to recognize that forces as well as moments are interactions between two bodies or systems
 - belief that the point where a couple is applied will be a fixed point in an ensuing rotation caused by the couple



Example – Step 2: Intervention (1/3)

- Development of worksheets modeled after *Tutorials in Introductory Physics* by McDermott *et al.* (1998)
- Tutorial worksheets designed to
 - enhance qualitative understanding of content
 - improve ability to model real-world situations
 - address specific difficulties previously identified
- Implementation of worksheets
 - one additional hour per week due to restructuring of curriculum
 - students work in small groups (3-5 students)
 - teaching assistants guide by asking questions



Example – Step 2: Intervention (2/3)

Beantworten Sie die folgenden Fragen anhand Ihrer Ergebnisse in Abschnitt 1.1.

- Teilen Sie die Situationen I bis VII in Gruppen ein, welche die gleichen resultierenden Kräfte und Momente besitzen.
- Ist es möglich, anhand der Auswirkungen auf den Körper zwischen den Situationen in einer Gruppe zu unterscheiden?

Zwei Kräftesysteme heißen *äquivalent*, wenn die zugehörigen resultierenden Kräfte und Momente gleich sind.

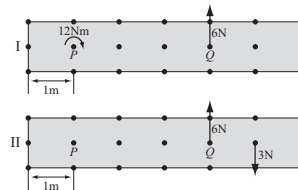
- War es um die Äquivalenz der Systeme I-VII zu prüfen, nötig, das resultierende Moment bezüglich *aller* Bezugspunkte zu vergleichen? Wenn ja, warum? Wenn nein, wie viele sind ausreichend, wenn die resultierende Kraft bekannt ist?

2 Konstruktion von äquivalenten Kräftesystemen

2.1 Beispiel eines Studierenden

- Hannes bearbeitet die Aufgabe, dem gegebenen System I ein ihm äquivalentes System II zu erstellen und seine Antwort zu begründen:

Hannes: „Mein System II ist zu dem gegebenem I 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 $d = 4\text{ m}$ 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 Punkt Q.

Example – Step 2: Intervention (2/3)

- Beantworten Sie die folgenden Fragen anhand Ihrer Ergebnisse in Abschnitt 1.1.
- Teilen Sie die Situationen I bis VII in Gruppen ein, welche die gleichen resultierenden Kräfte und Momente besitzen.
 - Ist es möglich, anhand der Auswirkungen auf den Körper zwischen den Situationen in einer Gruppe zu unterscheiden?

Zwei Kräftesysteme heißen *äquivalent*, wenn die zugehörigen resultierenden Kräfte und Momente gleich sind.

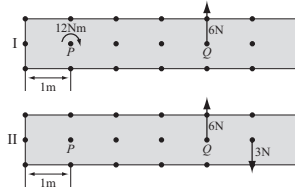
- War es um die Äquivalenz der Systeme I-VII zu prüfen, nötig, das resultierende Moment bezüglich *aller* Bezugspunkte zu vergleichen? Wenn ja, warum? Wenn nein, wie viele sind ausreichend, wenn die resultierende Kraft bekannt ist?

2 Konstruktion von äquivalenten Kräftesystemen

2.1 Beispiel eines Studierenden

- Hannes bearbeitet die Aufgabe, dem gegebenen System I ein ihm äquivalentes System II zu erstellen und seine Antwort zu begründen:

Hannes: „Mein System II ist zu dem gegebenem I 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 $d = 4\text{ m}$ 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 Punkt Q.

4. GRUPPENÜBUNG (23.11. - 27.11.2009) ÄQUIVALENZ VON KRÄFTESYSTEMEN

Aufgabe 12

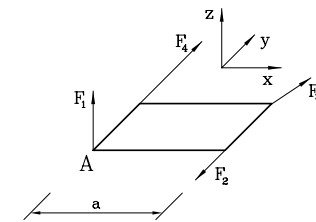
An einer quadratischen Platte der Seitenlänge a greifen die folgenden Kräfte an:

$$\vec{F}_1 = (0, 0, \sqrt{2})F, \quad \vec{F}_2 = (0, -1, 0)F,$$

$$\vec{F}_3 = (1, 1, 0)F, \quad \vec{F}_4 = (0, 4, 0)F.$$

Ersetzen Sie das Kräftesystem durch eine resultierende Kraft \vec{R} und ein resultierendes Moment \vec{M}_A bezüglich dem Punkt A.

$$\text{Lösung: } \vec{R} = \begin{bmatrix} 1 \\ 4 \\ \sqrt{2} \end{bmatrix} \cdot F; \quad \vec{M}_A = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -Fa \end{bmatrix}.$$



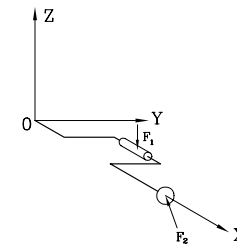
Aufgabe 24

Eine Bohrleier wird in x -Richtung rechtwinklig zu einer Wand (yz -Ebene) angesetzt. An der Leier greifen die eingezeichneten Kräfte $\vec{F}_1 = (0, 0, -100)$ N und $\vec{F}_2 = (-100, 0, 40)$ N an. Die Angriffspunkte werden durch die Ortsvektoren $\vec{r}_1 = (12, 10, 0)$ cm und $\vec{r}_2 = (30, 0, 0)$ cm bestimmt.

Man berechne die Kraft \vec{F} und das Moment \vec{M}_0 , daß der Bohrer an der Bohrstelle 0 auf die Wand ausübt, d.h. den äquivalenten Kraftwinder bezogen auf den Punkt 0.

$$\text{Gegeben: } \vec{F}_1; \vec{F}_2; \vec{r}_1; \vec{r}_2.$$

$$\text{Lösung: } \vec{F} = (-100, 0, -60) \text{ N}; \quad \vec{M}_0 = (-1000, 0, 0) \text{ Ncm}.$$



Example – Step 2: Intervention (2/3)

- Beantworten Sie die folgenden Fragen anhand Ihrer Ergebnisse in Abschnitt 1.1.
- Teilen Sie die Situationen I bis VII in Gruppen ein, welche die gleichen resultierenden Kräfte und Momente besitzen.
 - Ist es möglich, anhand der Auswirkungen auf den Körper zwischen den Situationen in einer Gruppe zu unterscheiden?

Zwei Kräftesysteme heißen *äquivalent*, wenn die zugehörigen resultierenden Kräfte und Momente gleich sind.

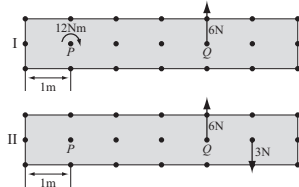
- War es um die Äquivalenz der Systeme I-VII zu prüfen, nötig, das resultierende Moment bezüglich *aller* Bezugspunkte zu vergleichen? Wenn ja, warum? Wenn nein, wie viele sind ausreichend, wenn die resultierende Kraft bekannt ist?

2 Konstruktion von äquivalenten Kräftesystemen

2.1 Beispiel eines Studierenden

- Hannes bearbeitet die Aufgabe, dem gegebenen System I ein ihm äquivalentes System II zu erstellen und seine Antwort zu begründen:

Hannes: „Mein System II ist zu dem gegebenem I 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 $d = 4\text{ m}$ 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 Punkt Q.

4. GRUPPENÜBUNG (23.11. - 27.11.2009) ÄQUIVALENZ VON KRÄFTESYSTEMEN

Aufgabe 12

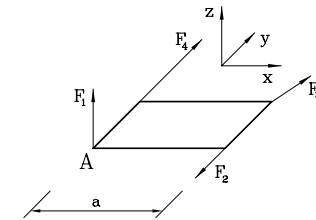
An einer quadratischen Platte der Seitenlänge a greifen die folgenden Kräfte an:

$$\vec{F}_1 = (0, 0, \sqrt{2})F, \quad \vec{F}_2 = (0, -1, 0)F,$$

$$\vec{F}_3 = (1, 1, 0)F, \quad \vec{F}_4 = (0, 4, 0)F.$$

Ersetzen Sie das Kräftesystem durch eine resultierende Kraft \vec{R} und ein resultierendes Moment \vec{M}_A bezüglich dem Punkt A.

$$\text{Lösung: } \vec{R} = \begin{bmatrix} 1 \\ 4 \\ \sqrt{2} \end{bmatrix} \cdot F; \quad \vec{M}_A = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -Fa \end{bmatrix}.$$



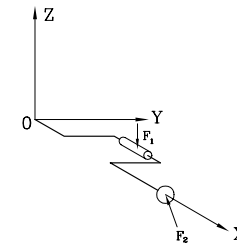
Aufgabe 24

Eine Bohrleier wird in x -Richtung rechtwinklig zu einer Wand (yz -Ebene) angesetzt. An der Leier greifen die eingezeichneten Kräfte $\vec{F}_1 = (0, 0, -100)$ N und $\vec{F}_2 = (-100, 0, 40)$ N an. Die Angriffspunkte werden durch die Ortsvektoren $\vec{r}_1 = (12, 10, 0)$ cm und $\vec{r}_2 = (30, 0, 0)$ cm bestimmt.

Man berechne die Kraft \vec{F} und das Moment \vec{M}_0 , daß der Bohrer an der Bohrstelle 0 auf die Wand ausübt, d.h. den äquivalenten Kraftwinder bezogen auf den Punkt 0.

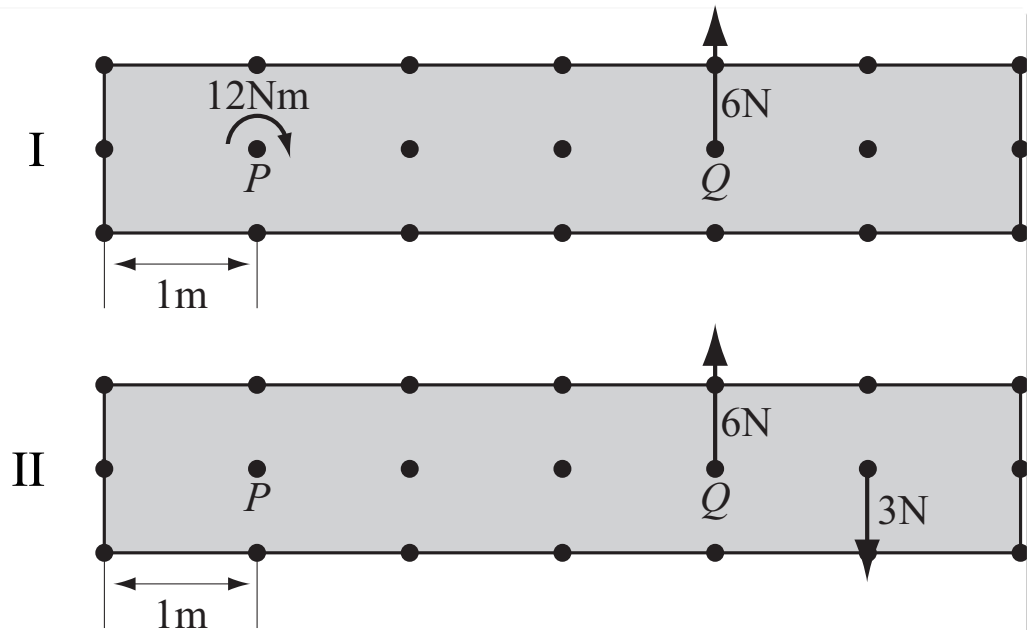
$$\text{Gegeben: } \vec{F}_1; \vec{F}_2; \vec{r}_1; \vec{r}_2.$$

$$\text{Lösung: } \vec{F} = (-100, 0, -60) \text{ N}; \quad \vec{M}_0 = (-1000, 0, 0) \text{ Ncm}.$$



Example – Step 2: Intervention (3/3)

Hannes: "System II is equivalent to system I. Remember, $\vec{M} = \vec{d} \times \vec{F}$. Hence, a moment of 12 Nm with respect to P can be replaced by a 3 N force, 4 m to the right of P ."



- Do you agree with Hannes? Justify your answer.
- Compare the resulting forces in systems I and II.
- Compare the resulting moments relative to point Q for both systems.

Example – Step 3: Evaluation (1/2)

Year*	FCI (pre) [%]	SCI (post) [%]
2005-2006	50	42
2006-2007	45	36
2007-2008	51	30
2008-2009	49	29
2009-2010	47	43

*On average about 400 students took the FCI and 300 the SCI

Example – Step 3: Evaluation (1/2)

Year*	FCI (pre) [%]	SCI (post) [%]	stat-eq [%]
2005-2006	50	42	17
2006-2007	45	36	12
2007-2008	51	30	11
2008-2009	49	29	13
2009-2010	47	43	27

*On average about 400 students took the FCI and 300 the SCI

Example – Step 3: Evaluation (2/2)

- Other factors may play a role
 - active learning aspects have been introduced in lecture in 2007
 - two different lecturers during the five years
 - beginning of mechanics sequence changed twice
 - curriculum change in 2009 led to doubling the contact hours with TA

- But ...

Summary & Conclusions

- Engineering Education Group at TUHH
 - Research on student understanding
 - Development of instructional materials
- Methodology
 - three-step process
- Example of Implementation
 - Mechanics Interviews
 - conceptually oriented tutorial worksheets
- Argument for its success
 - marked improvement in the stat-eq section of the SCI

Research on student understanding can serve as a guide for the development of effective instructional materials for introductory engineering courses