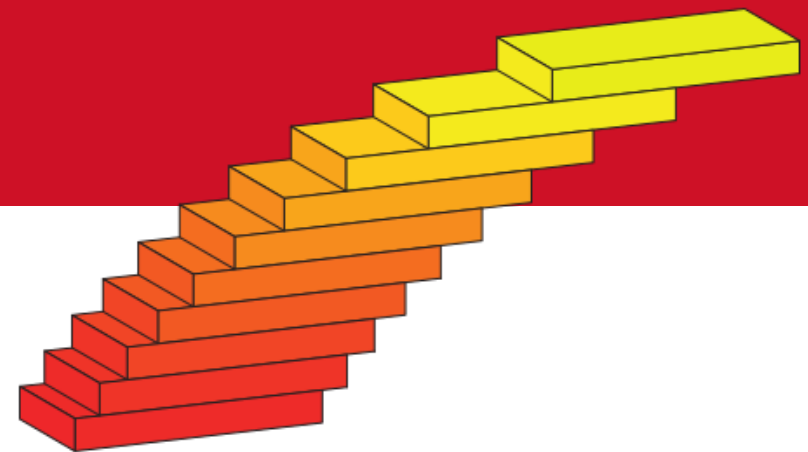


# Automatic Feedback and Grading of Individual Homework Assignments using STACK

Prof. Dr.-Ing. Martin Kraska  
Mechanics of Materials and Structures



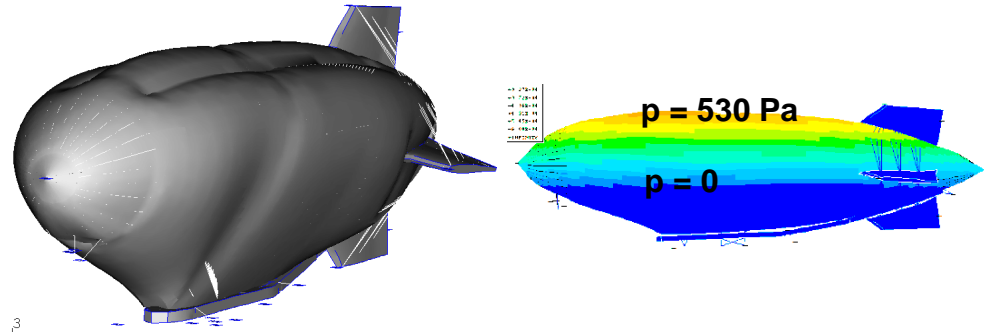


# Overview

- Introduction
- E-assessment in teaching of engineering mechanics:
  - How it started at THB
  - Current state
  - Future development
- Summary



# Introduction



## Education:

- Mechanical Engineering in Moscow, Freiberg (Sa.) and Berlin
- Research and teaching assistant at the Institute of Mechanics at the TU Berlin

## Professional experience:

- 4 years aerospace industry (CargoLifter)
- 10 years automotive industry (INPRO Berlin)
- 8 years teaching at THB



# e-Assessment: History

## **Traditional course format in Engineering Mechanics:**

- 90 min lecture (theoretical introduction and motivation)
- 90 min exercise (problem solving on the blackboard)
- (optional) Q/A sessions („Tutorium“)
- Written exam by end of term



# e-Assessment: History

## **Traditional course format in Engineering Mechanics:**

- 90 min lecture (theoretical introduction and motivation)
- 90 min exercise (problem solving on the blackboard)
- (optional) Q/A sessions („Tutorium“)
- Written exam by end of term

## **Problems:**

- Not enough time for self-paced problem solving by students in the classroom exercises
- Large variety of math skills
- How to activate students before immediate exam session?
- How to support individual training?



# e-Assessment: History

## **Solution: Weekly homework assignments**

- Motivation by (low stake) exam bonus scheme
- Individual randomized problems reduce cheating
- Automatic assessment for instant individual feedback

## **Need for technology**

- LMS at THB is Moodle
- Very complex for beginners: (quizzes, question bank, question types, question behaviour,....)
- Major momentum gained by training for e-learning
  - 2013: How to write a „Calculated“ question?
  - 2019: How to write a STACK question?



# e-Assessment: History

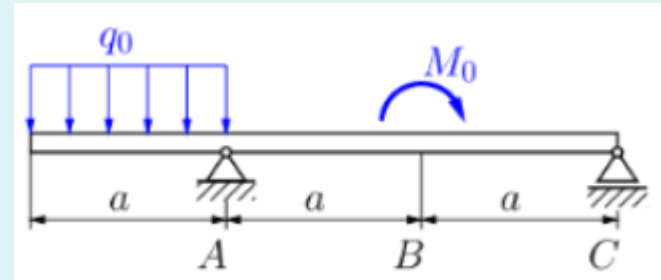
## Weekly Moodle Tests, 2013

- Based on question type „Calculated“
- Randomization available

Berechnen Sie das Biegemoment in der Mitte zwischen den Punkten A und B.

Gegeben:

$$a = 1 \text{ m} \quad q_0 = 0,6 \text{ kN/m} \quad M_0 = 185 \text{ Nm}$$



Antwort:

Auswählen ... ▾

Prüfen



# e-Assessment: History

## Weekly Moodle Tests, 2013

- Based on question type „Calculated“
- Randomization available

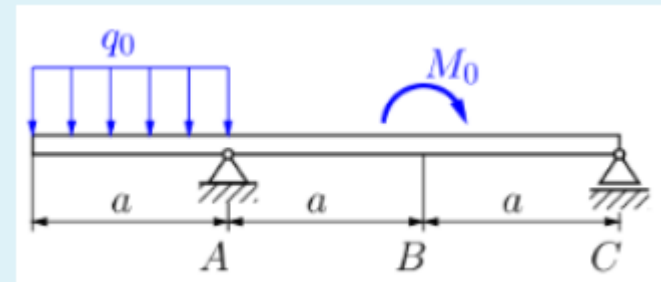
## Problems

- Restricted to just a single response (number)
- No multipart questions for scaffolding complex problems
- Frequently students couldn't solve them prior to Q/A sessions

Berechnen Sie das Biegemoment in der Mitte zwischen den Punkten A und B.

Gegeben:

$$a = 1 \text{ m} \quad q_0 = 0,6 \text{ kN/m} \quad M_0 = 185 \text{ Nm}$$



Antwort:

Auswählen ... ▾

Prüfen



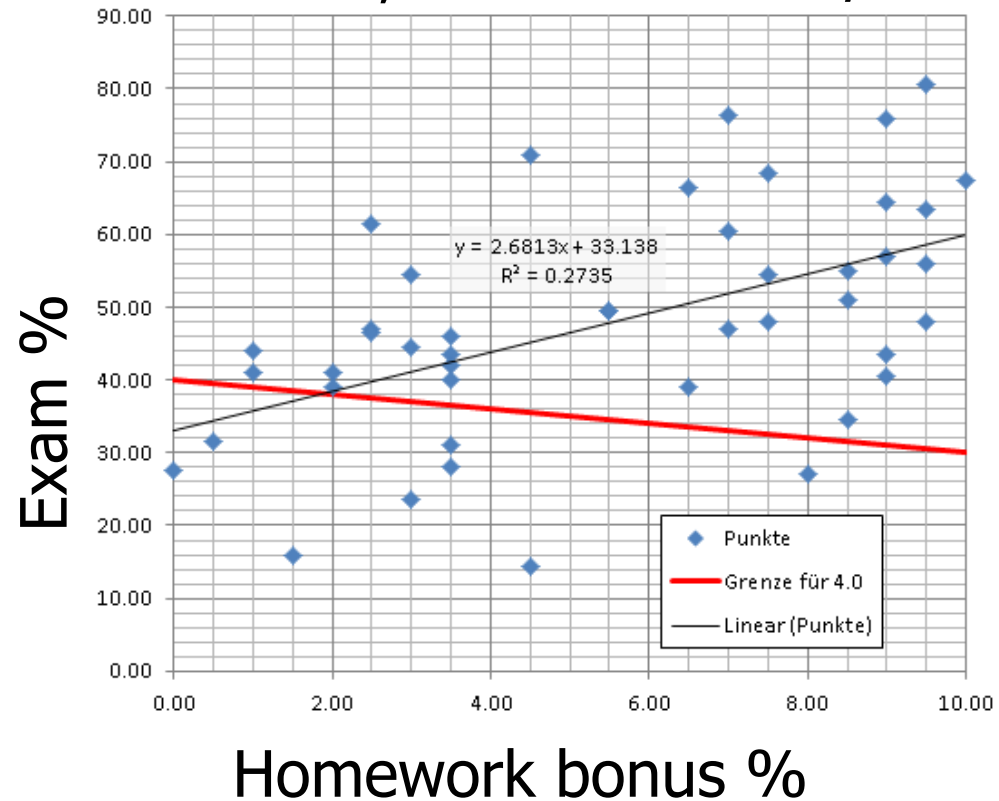


# e-Assessment: History

## Exam Bonus Mode

- Homework could add up to 10% of the final exam result
- Pass threshold 40%
- Correlation Homework to exam not very strong but encouraging

## Statics, Winter term 14/15



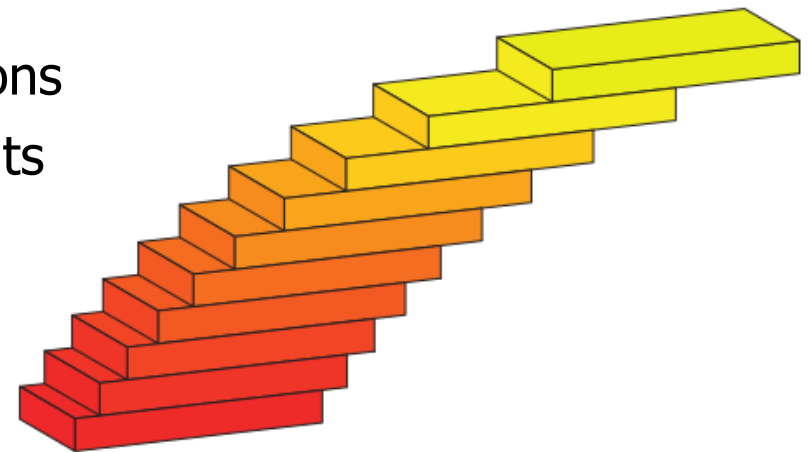


# e-Assessment: Current State

**2019:** Trigger: Personal coaching „Write your 1st STACK question“

**S**ystem for **T**eaching and **A**ssessment using a **C**omputer Algebra **K**ernel

- Question type for the Moodle LMS
- Developed by Chris Sangwin, University of Edinburgh
- Open source
- Handling of symbolic expressions
- Handling of quantities with units
- Flexible response trees





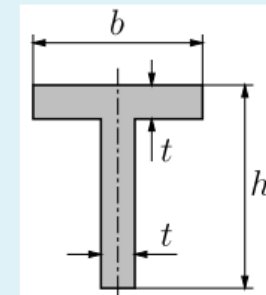
# e-Assessment: Current State

## 2019: question type STACK

- Approx. 60 new or converted questions for Engineering Mechanics
- Many multi-step questions
- Some questions including dynamic graphic feedback

Frage nachbessern | Frage-Tests und eingesetzte Variante

### T-Profil



Mit welchem Biegemoment um die (horizontale) Querachse kann das dargestellte T-Profil belastet werden, wenn die Biegespannung  $\sigma_{zul}$  betragsmäßig nicht überschreiten darf?

$$\sigma_{zul} = 120 \text{ MPa}$$

$$b = 60 \text{ mm}$$

$$h = 80 \text{ mm}$$

$$t = 10 \text{ mm}$$

Schwerpunktabstand von der Oberkante  $\bar{z}_S$ :

 mm

Flächenträgheitsmoment um die Querachse  $I_y$ :

 cm<sup>4</sup>

Widerstandsmoment um die Querachse  $W_y$ :

 cm<sup>3</sup>

Zulässiges Biegemoment  $M_{zul}$ :

 Nm

Prüfen



# e-Assessment: Current State

## Single quiz with 1G and 2G questions

### 2G: Question type „STACK“

Tidy question | Question tests & deployed version

Für den dargestellten Balken mit gestufter Streckenlast und zwei Lagern bei A und B sind die folgenden Werte gegeben:

$l = 2 \text{ m}$ ,  $q_1 = 3 \text{ kN/m}$ ,  $q_2 = 5 \text{ kN/m}$

Bestimmen Sie die vertikalen Auflagerreaktionen (nach oben positiv gezählt):

$F_A = F_B =$   **exakter Wert**  **kN**

Bestimmen Sie das Biegemoment im Punkt A.

$M_A =$   **exakter Wert**  **kNm**

Bestimmen Sie die Querkraft genau rechts von Punkt A.

$F_{Q,A+} =$   **exakter Wert**  **kN**

Bestimmen Sie die Schnittlasten im Punkt C.

$F_{Q,C} =$   **exakter Wert**  **kN**

$M_C =$   **exakter Wert**  **kNm**

Tidy question | Question tests & deployed version

Für den dargestellten Balken mit Dreiecks-Streckenlast und zwei Lagern bei A und B sind die folgenden Werte gegeben:

$a = 4 \text{ m}$ ,  $b = 3 \text{ m}$ ,  $q_0 = 4 \text{ kN/m}$

Bestimmen Sie die vertikalen Auflagerreaktionen (nach oben positiv gezählt):

$F_A =$   **exakter Wert**  **kN**

$F_B =$   **exakter Wert**  **kN**

Bestimmen Sie die Schnittlasten im Punkt C.

$F_Q =$   **exakter Wert**  **kN**

$M =$   **exakter Wert**  **kNm**

### 1G: Question type „Calculated“

Berechnen Sie die Längskraft im Punkt C.

Gegeben:

$l_1 = 0.6 \text{ m}$     $l_2 = 24 \text{ cm}$     $\alpha = 45^\circ$     $q_0 = 1.4 \text{ kN/m}$

Achtung: Bei diesem Aufgabentyp bitte ausnahmsweise **Dezimalzahlen mit Komma** eingeben!

Answer:

Berechnen Sie das Biegemoment in der Mitte zwischen den Punkten A und B.

Gegeben:

$a = 0.9 \text{ m}$     $q_0 = 0.4 \text{ kN/m}$     $M_0 = 300 \text{ Nm}$

Achtung: Bei diesem Aufgabentyp bitte ausnahmsweise **Dezimalzahlen mit Komma** eingeben!

Answer:



# e-Assessment: Current State

## Single quiz with 1G and 2G questions



## 2G: Question type „STACK“

Tidy question | Question tests & deployed version

Für den dargestellten Balken mit gestufter Streckenlast und zwei Lagern bei A und B sind die folgenden Werte gegeben:  
 $\ell = 2 \text{ m}$ ,  $q_1 = 3 \text{ kN/m}$ ,  $q_2 = 5 \text{ kN/m}$

Bestimmen Sie die vertikalen Auflagerreaktionen (nach oben positiv gezählt):  
 $F_A = F_B =$   **exakter Wert**  **kN**

Bestimmen Sie das Biegemoment im Punkt A.  
 $M_A =$   **exakter Wert**  **kNm**

Bestimmen Sie die Querkraft genau rechts von Punkt A.  
 $F_{Q,A+} =$   **exakter Wert**  **kN**

Bestimmen Sie die Schnittlasten im Punkt C.  
 $F_{Q,C} =$   **exakter Wert**  **kN**  
 $M_C =$   **exakter Wert**  **kNm**

Tidy question | Question tests & deployed version

Für den dargestellten Balken mit Dreiecks-Streckenlast und zwei Lagern bei A und B sind die folgenden Werte gegeben:  
 $a = 4 \text{ m}$ ,  $b = 3 \text{ m}$ ,  $q_0 = 4 \text{ kN/m}$

Bestimmen Sie die vertikalen Auflagerreaktionen (nach oben positiv gezählt):  
 $F_A =$   **exakter Wert**  **kN**  
 $F_B =$   **exakter Wert**  **kN**

Bestimmen Sie die Schnittlasten im Punkt C.  
 $F_Q =$   **exakter Wert**  **kN**  
 $M =$   **exakter Wert**  **kNm**

## 1G: Question type „Calculated“

Berechnen Sie die Längskraft im Punkt C.  
 Gegeben:  
 $l_1 = 0.6 \text{ m}$ ,  $l_2 = 24 \text{ cm}$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $q_0 = 1.4 \text{ kN/m}$

Achtung: Bei diesem Aufgabentyp bitte ausnahmsweise **Dezimalzahlen mit Komma** eingeben!

Answer:

Berechnen Sie das Biegemoment in der Mitte zwischen den Punkten A und B.  
 Gegeben:  
 $a = 0.9 \text{ m}$ ,  $q_0 = 0.4 \text{ kN/m}$ ,  $M_0 = 300 \text{ Nm}$

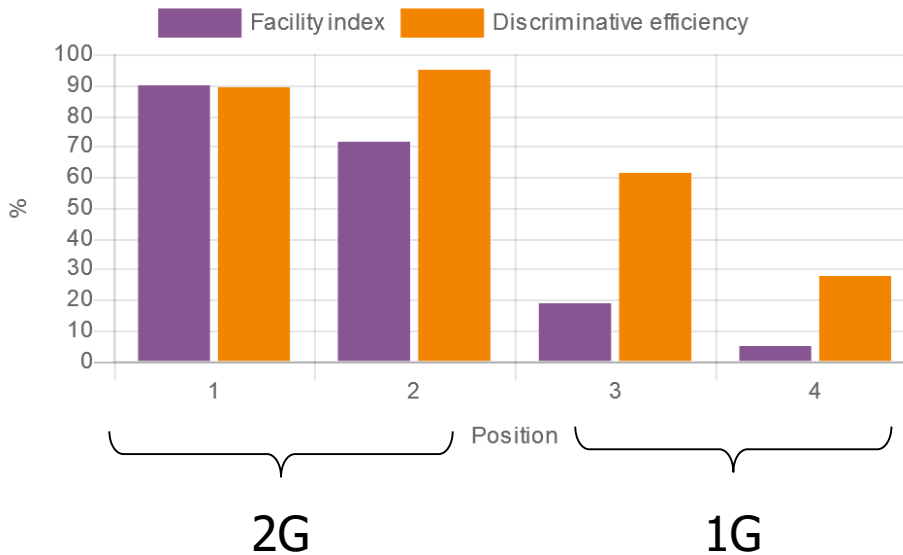
Achtung: Bei diesem Aufgabentyp bitte ausnahmsweise **Dezimalzahlen mit Komma** eingeben!

Answer:



# e-Assessment: Current State

## Single quiz with 1G and 2G questions



## 2G: Question type „STACK“

Für den dargestellten Balken mit gestufter Streckenlast und zwei Lagern bei  $A$  und  $B$  sind die folgenden Werte gegeben:  
 $\ell = 2 \text{ m}$ ,  $q_1 = 3 \text{ kN/m}$ ,  $q_2 = 5 \text{ kN/m}$

Bestimmen Sie die vertikalen Auflagerreaktionen (nach oben positiv gezählt):  
 $F_A = F_B =$   **exakter Wert**  **kN**

Bestimmen Sie das Biegemoment im Punkt  $A$ .  
 $M_A =$   **exakter Wert**  **kNm**

Bestimmen Sie die Querkraft genau rechts von Punkt  $A$ .  
 $F_{Q,A+} =$   **exakter Wert**  **kN**

Bestimmen Sie die Schnittlasten im Punkt  $C$ .  
 $F_{Q,C} =$   **exakter Wert**  **kN**  
 $M_C =$   **exakter Wert**  **kNm**

Für den dargestellten Balken mit Dreiecks-Streckenlast und zwei Lagern bei  $A$  und  $B$  sind die folgenden Werte gegeben:  
 $a = 4 \text{ m}$ ,  $b = 3 \text{ m}$ ,  $q_0 = 4 \text{ kN/m}$

Bestimmen Sie die vertikalen Auflagerreaktionen (nach oben positiv gezählt):  
 $F_A =$   **exakter Wert**  **kN**  
 $F_B =$   **exakter Wert**  **kN**

Bestimmen Sie die Schnittlasten im Punkt  $C$ .  
 $F_Q =$   **exakter Wert**  **kN**  
 $M =$   **exakter Wert**  **kNm**

## 1G: Question type „Calculated“

Berechnen Sie die Längskraft im Punkt  $C$ .  
 Gegeben:  
 $l_1 = 0.6 \text{ m}$ ,  $l_2 = 24 \text{ cm}$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $q_0 = 1.4 \text{ kN/m}$

Achtung: Bei diesem Aufgabentyp bitte ausnahmsweise **Dezimalzahlen mit Komma** eingeben!

Answer:

Berechnen Sie das Biegemoment in der Mitte zwischen den Punkten  $A$  und  $B$ .  
 Gegeben:  
 $a = 0.9 \text{ m}$ ,  $q_0 = 0.4 \text{ kN/m}$ ,  $M_0 = 300 \text{ Nm}$

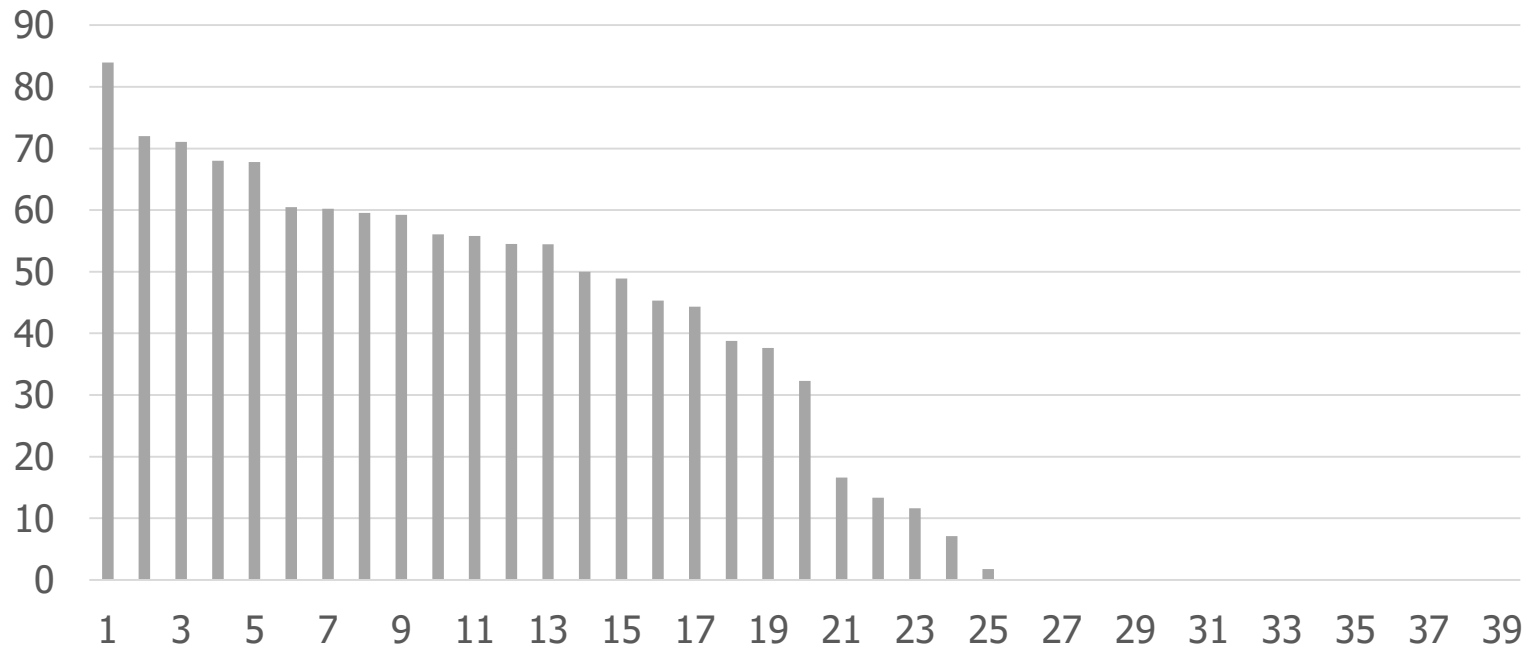
Achtung: Bei diesem Aufgabentyp bitte ausnahmsweise **Dezimalzahlen mit Komma** eingeben!

Answer:



# e-Assessment: Lockdown Conditions

Weekly e-test score, %, first year Engineering Mechanics, summer term 2020, no exam bonus

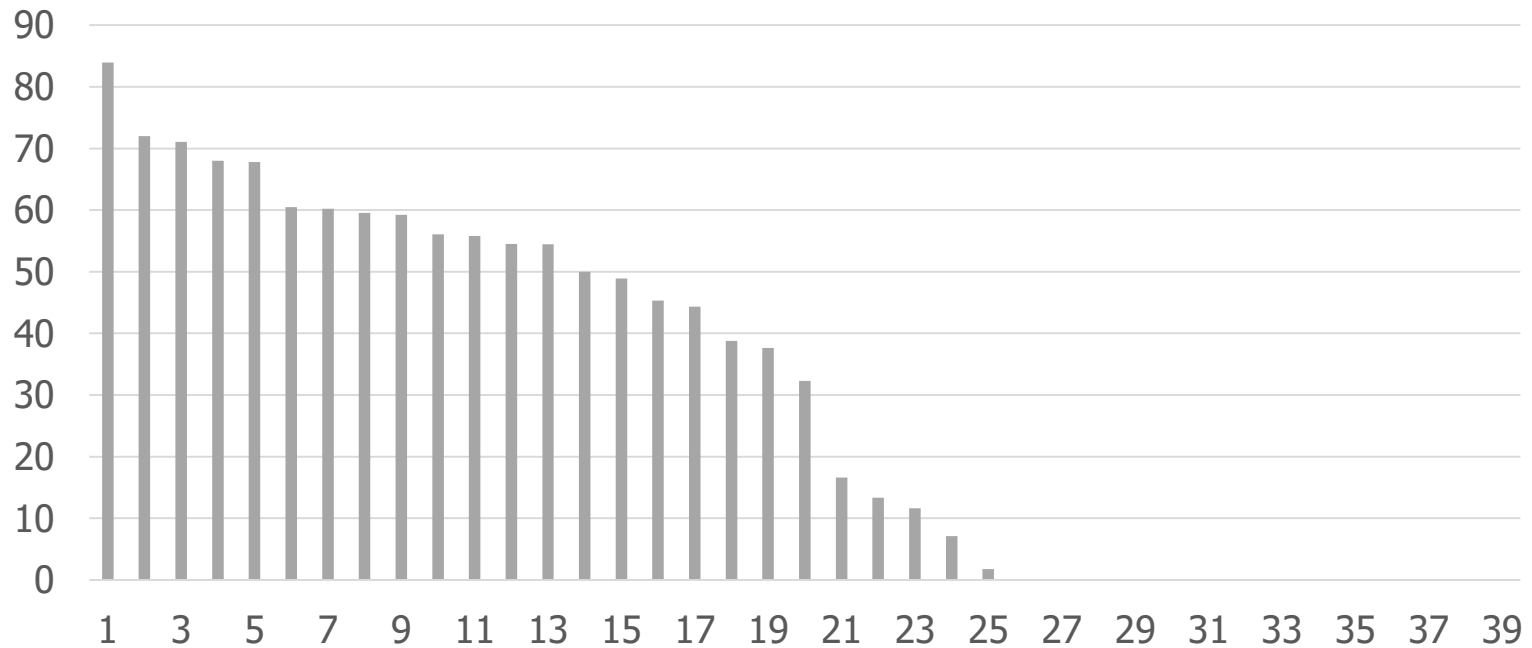


40 enrolled students in the moodle course



# e-Assessment: Lockdown Conditions

Weekly e-test score, %, first year Engineering Mechanics, summer term 2020, no exam bonus



Average attendance in online lectures and exercises

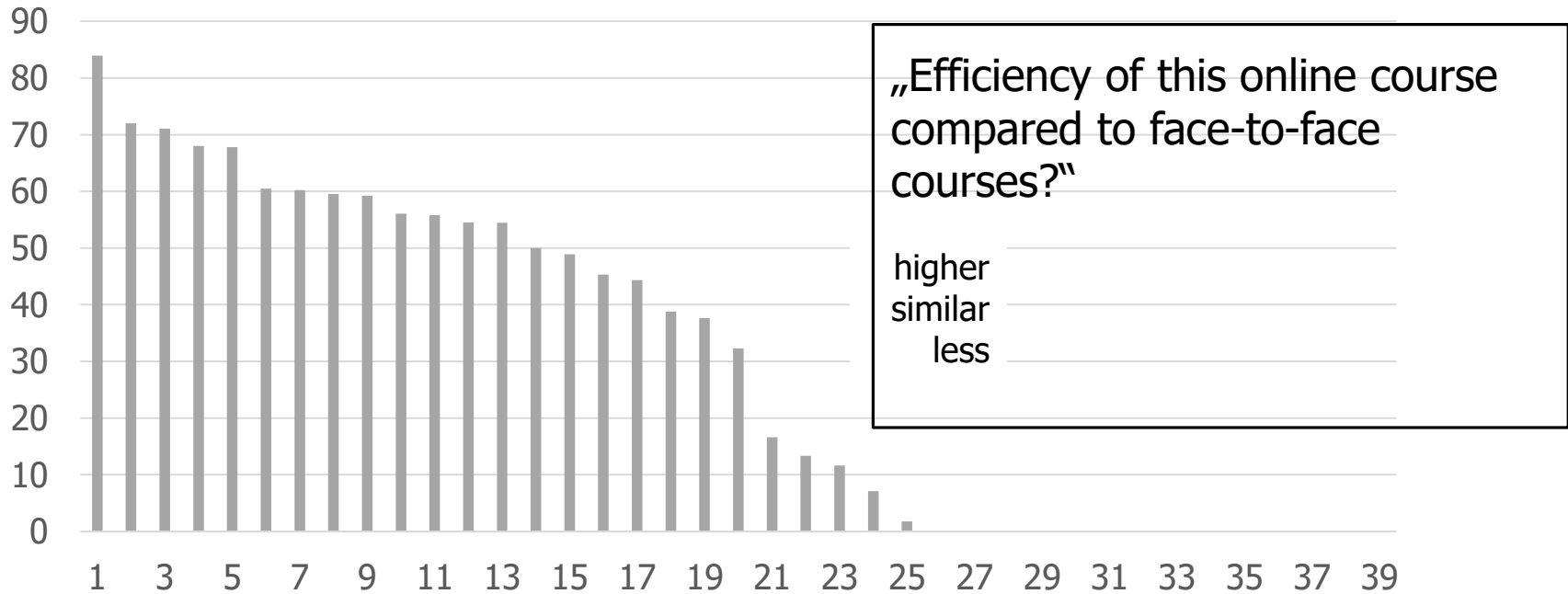
40 enrolled students in the moodle course





# e-Assessment: Lockdown Conditions

Weekly e-test score, %, first year Engineering Mechanics, summer term 2020, no exam bonus



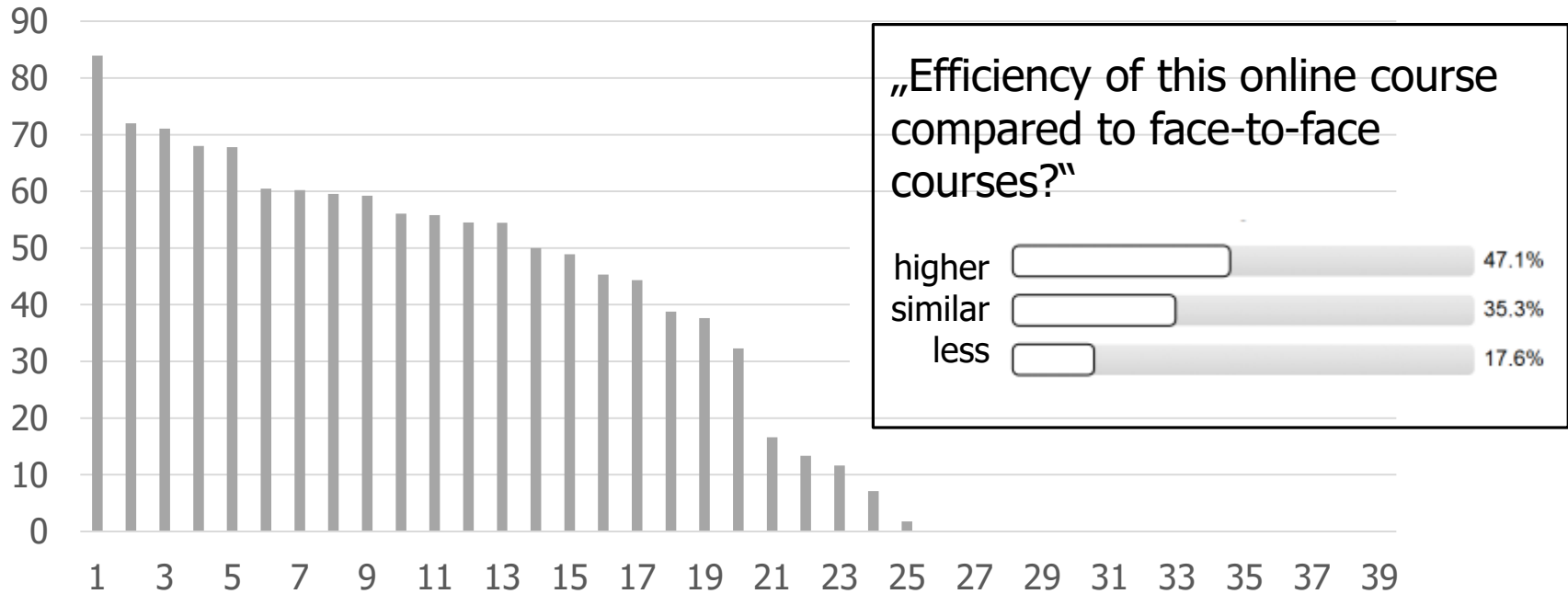
Average attendance in online lectures and exercises

40 enrolled students in the moodle course



# e-Assessment: Lockdown Conditions

Weekly e-test score, %, first year Engineering Mechanics, summer term 2020, no exam bonus



Average attendance in online lectures and exercises

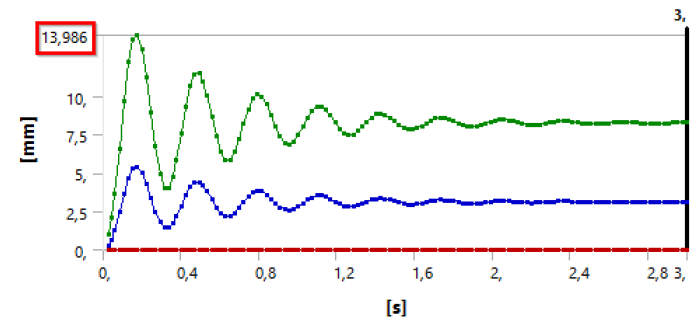
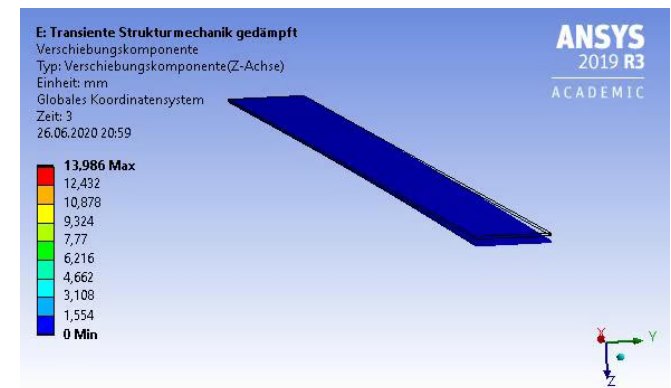
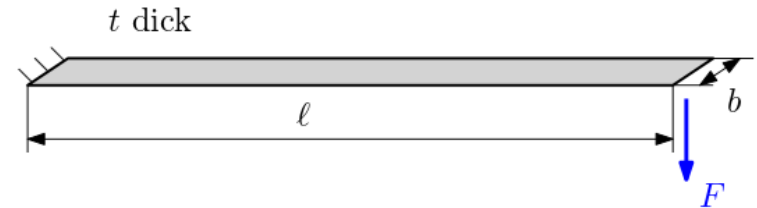
40 enrolled students in the moodle course



# Virtual Simulation Lab

## Face-to-face simulation lab exercise

- Set up and run finite element analysis of various mechanical and thermal models
- Base: Written instructions and life demo by trainer (me)
- Students work in groups of 2
- Randomized parameters
- Manual grading of PDF reports





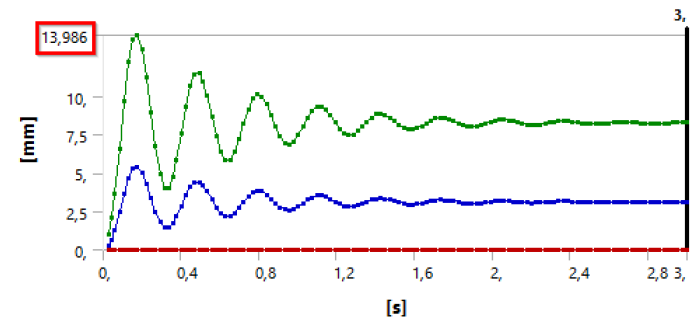
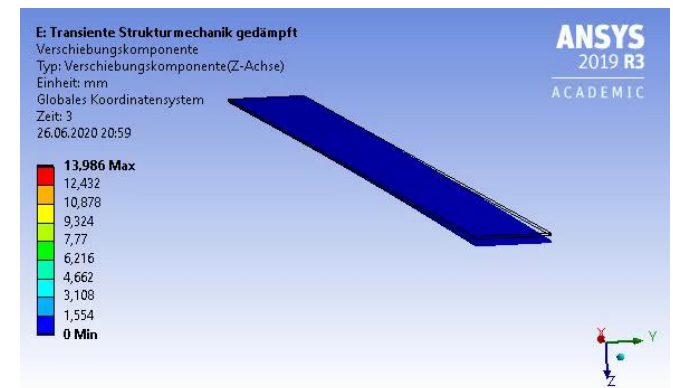
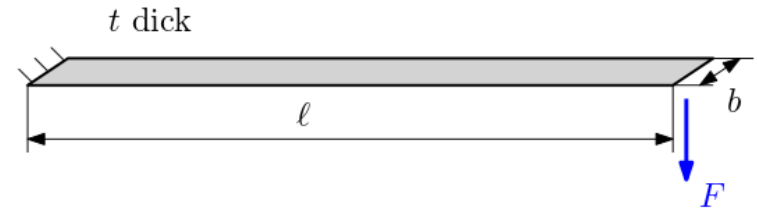
# Virtual Simulation Lab

## Face-to-face simulation lab exercise

- Set up and finite element analysis of various mechanical and thermal models
- Base: Written instructions and life demo by trainer (me)
- Students work in groups of 2
- Randomized parameters
- Manual grading of PDF reports

## Problem (Corona-independent)

- Some students don't like verification.
- Do the job, don't check, submit.
- Multiple grading iterations





# Virtual Simulation Lab

## Virtual lab exercise

- More detailed written instructions
- Live demo via web conference

## Results check via **STACK** questions



# Virtual Simulation Lab

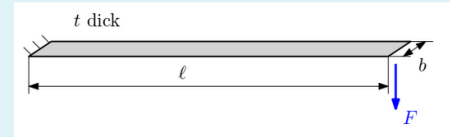
## Corona: virtual lab exercise

- More detailed written instructions
- Live demo via web conference

## Results check via STACK questions

- Generate individual parameters

### Aufgabenparameter



$$l = 620 \text{ mm};$$

$$t = 0.9 \text{ mm};$$

$$b = 30 \text{ mm};$$



# Virtual Simulation Lab

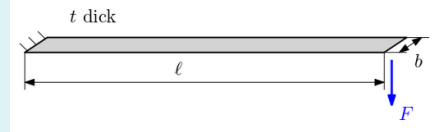
## Corona: virtual lab exercise

- More detailed written instructions
- Life demo via web conference

## Results check via STACK questions

- Generate individual parameters
- Step-by-step results checks

### Aufgabenparameter



$$l = 620 \text{ mm};$$

$$t = 0.9 \text{ mm};$$

$$b = 30 \text{ mm};$$

Führen Sie nun die transiente Analyse unter Verwendung dieser Dämpfungsparameter durch.

Wie groß ist nun die maximale Verschiebung im Verlauf der Sprungantwort?

$$w_{\max,D} = \text{36.364} \text{ mm}$$

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert:  
36.364

Richtig.

Bewertung für diese Einreichung: 0,31/0,31.



# Virtual Simulation Lab

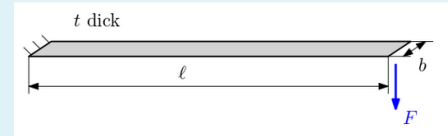
## Corona: virtual lab exercise

- More detailed written instructions
- Life demo via web conference

## Results check via STACK questions

- Generate individual parameters
- Step-by-step checks
- PDF with proof images → manual consistency check
- Everything-right policy with unlimited attempts

### Aufgabenparameter



$$\ell = 620 \text{ mm};$$

$$t = 0.9 \text{ mm};$$

$$b = 30 \text{ mm};$$

Führen Sie nun die transiente Analyse unter Verwendung dieser Dämpfungsparameter durch.

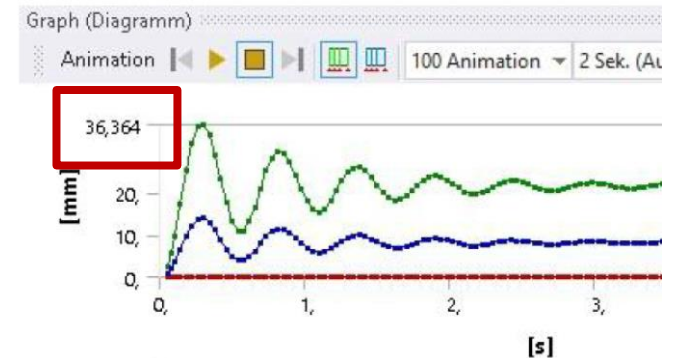
Wie groß ist nun die maximale Verschiebung im Verlauf der Sprungantwort?

$$w_{\max,D} = 36.364 \text{ mm}$$

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert:  
36.364

Richtig.

Bewertung für diese Einreichung: 0,31/0,31.







# Virtual Simulation Lab

## Behind the scenes

- Some (correct) FEA results can be quite off analytical results.
- Metamodels (response surfaces) required for results check.
- Calibrated to samples of the parameter space (running a set of simulations in advance).

## Sampling of problem parameter space

1	Name	P1 - L	P2 - B	P4 - t	P3 - F1 gefesselt	P5 - Netz Knoten	P6 - F1 unge...	P7 - MR	P8 - w0	P9 - wmax0	P10 - wmaxD
2	Einheit	mm	mm	mm	Hz		Hz	N mm	mm	mm	mm
3	DP 0 (aktuell)	500	30	1	3,2765	204	20,771	50	8,2752	15,886	13,986
4	DP 1	700	30	0,9	1,5026	284	9,534	70	31,21	61,37	49,25
5	DP 2	700	30	1,1	1,8365	284	11,653	70	17,094	33,456	27,75
6	DP 3	600	30	1	2,2737	244	14,421	60	14,316	27,854	23,771
7	DP 4	600	30	0,9	2,0463	244	12,979	60	19,638	38,339	32,277
8	DP 5	600	30	1,1	2,501	244	15,863	60	10,756	20,805	17,916
9	DP 6	500	30	1	3,2765	204	20,771	50	8,2752	15,886	13,986
10	DP 7	500	30	0,9	2,9489	204	18,694	50	11,351	21,872	19,17
11	DP 8	500	30	1,1	3,6041	204	22,849	50	6,2174	11,845	10,456

## Least squares fit of metamodel parameters

$$a_F := f = a + b \cdot t + c \cdot \frac{L_0^2}{L^2} + d \cdot \frac{L_0}{L} + k \cdot t \cdot \frac{L_0^2}{L^2} \quad L_0 := 500$$

$$D := \begin{bmatrix} 500 & 0,9 & 2,9489 & 11,35 \\ 500 & 1 & 3,2765 & 8,275 \\ 500 & 1,1 & 3,6041 & 6,217 \\ 600 & 0,9 & 2,0463 & 19,638 \\ 600 & 1 & 2,2737 & 14,316 \\ 600 & 1,1 & 2,501 & 10,756 \\ 700 & 0,9 & 1,5026 & 31,21 \\ 700 & 1 & 1,6695 & 22,752 \\ 700 & 1,1 & 1,8365 & 17,094 \end{bmatrix}$$

$$F := \text{Fit} \left( D; \begin{Bmatrix} L \\ t \\ w \end{Bmatrix}; a_F; \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ k \end{Bmatrix} \right) \quad \text{Assign}(F) = \begin{Bmatrix} -0,85565 \\ 0,77586 \\ 0,9335 \\ 0,17158 \\ 2,2515 \end{Bmatrix}$$

## Metamodel in STACK

```

/· metamodel for f1 eigenfrequency constrained , see Modalanalyse.sm ·/
a: -0.85565;
b: 0.77586;
c: 0.9335;
d: 0.17158;
k: 2.2515
f1: a+b*tb+c*500^2/le^2+d*500/le+k*tb*500^2/le^2;

```



# Virtual Simulation Lab

## How did it work?

- 80% of the students succeeded without further interaction.
- Much better than without automatic checks.

### Modalanalyse des gefesseltes Systems

Fügen Sie dem eben berechneten System eine Einspannung bei  $x=0$  hinzu (linker Rand).

- Wieviele Starrkörpereigenformen beobachten Sie?

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert: 0

Richtig.

Bewertung für diese Einreichung: 0,33/0,33.

- Wie groß ist die kleinste Schwingungs-Eigenfrequenz?

$f =$   Hz

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert: 2.67

Richtig.

Bewertung für diese Einreichung: 0,33/0,33.



# Virtual Simulation Lab

## How did it work?

- 80% of the students succeeded without further interaction.
- Much better than without automatic checks.
- Everything-right policy requires the weak students to fight
- 75 % of support requests due to language problems
- 25 % of support requests due to technical problems

### Modalanalyse des gefesseltes Systems

Fügen Sie dem eben berechneten System eine Einspannung bei  $x=0$  hinzu (linker Rand).

- Wieviele Starrkörperformen beobachten Sie?

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert: 0

Richtig.

Bewertung für diese Einreichung: 0,33/0,33.

- Wie groß ist die kleinste Schwingungs-Eigenfrequenz?

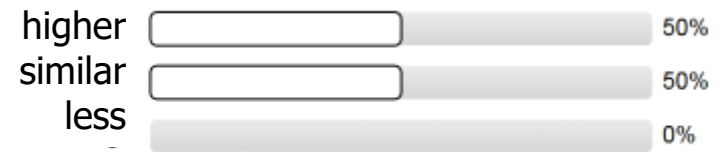
$f =$   Hz

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert: 2.67

Richtig.

Bewertung für diese Einreichung: 0,33/0,33.

„Efficiency of this online course compared to face-to-face courses?“





# e-Assessment: Future

## Pros

- STACK is a powerful open source tool under active development.
- Repetitive work (manual grading paperwork) replaced by content development
- Instant feedback is appreciated by students
- Analysis of response behaviour is a worth the effort
- No dependence on commercial supplier



# e-Assessment: Future

## Pros

- STACK is a powerful open source tool under active development.
- Repetitive work (manual grading paperwork) replaced by content development
- Instant feedback is appreciated by students
- Analysis of response behaviour is a worth the effort
- No dependence on commercial supplier

## Cons

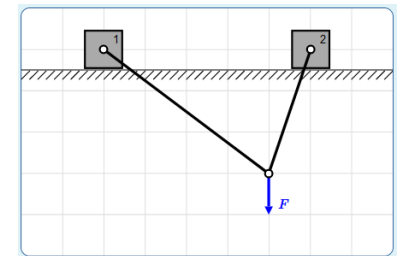
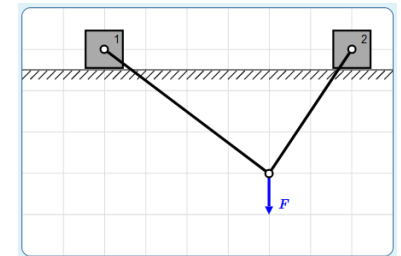
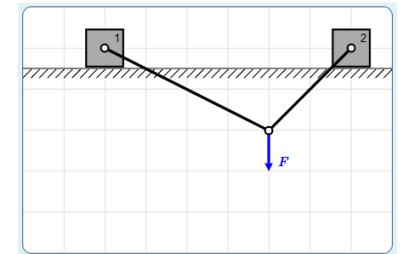
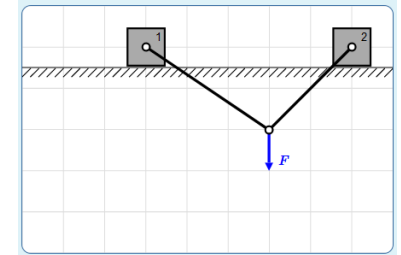
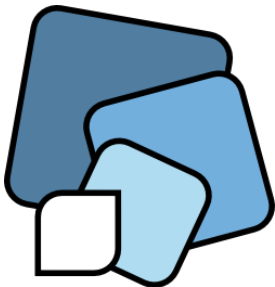
- Limited UI comfort (no equation editor, no syntax highlighting or smart editing of code)
- Authoring questions is quite a challenge.
  - First steps require TeX and Maxima
  - Advanced features require Javascript and HTML



# e-Assessment: Future

## Question Authoring

- Improving of feedback trees based on student's response analysis
- Add worked solutions to the feedback
- Add question tests (long term QA)
- Use of JSXGraph integration for
  - Dynamic graphics for randomized question texts and worked solutions
  - Graphical input up to free body diagrams





# e-Assessment: Future

## General level

- Add more questions
- Extend to other courses
- Usage in high stake tests (exams)
- Development towards complete course material with embedded interaction
- Get involved with the e-assessment community
- Example: HELM (Helping Engineers to Learn Mathematics, 2000-2005, UK) – going to be implemented as a series of STACK quizzes



# Summary

- Lockdown requires focus on e-teaching
- E-assessment is an important part of it
- Formative e-assessment short-cuts the feedback loop
- Summative e-assessment facilitates keeping high standards
- Good language skills are essential for distant learning
- Still a lot of work towards comprehensive course materials





# References

[STACK project website](#)

**E-A×M+S 2020**

International conference on E-Assessment in Mathematical Sciences 22. June – 1<sup>st</sup> July [eams.ncl.ac.uk](http://eams.ncl.ac.uk)

[jsxgraph.uni-bayreuth.de](http://jsxgraph.uni-bayreuth.de)

1st International JSXGraph Conference 6.-8. October 2020

[HELM: Helping Engineers to Learn Mathematics](#)

Thank you for your attention!

[STACK project website](#)

International conference on E-Assessment in Mathematical Sciences  
22. June – 1<sup>st</sup> July [eams.ncl.ac.uk](http://eams.ncl.ac.uk)

[jsxgraph.uni-bayreuth.de](http://jsxgraph.uni-bayreuth.de)

1st International JSXGraph Conference 6.-8. October 2020

[HELM: Helping Engineers to Learn Mathematics](#)