

Cognitively Activating Learning Environments

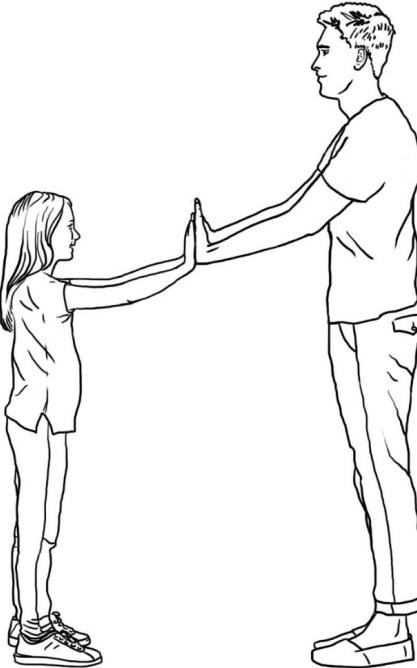
Ralph Schumacher
MINT-Learning Center, ETH Zürich



How can we promote conceptual change?

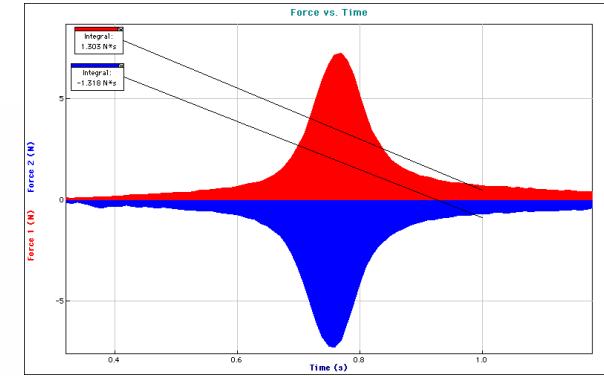
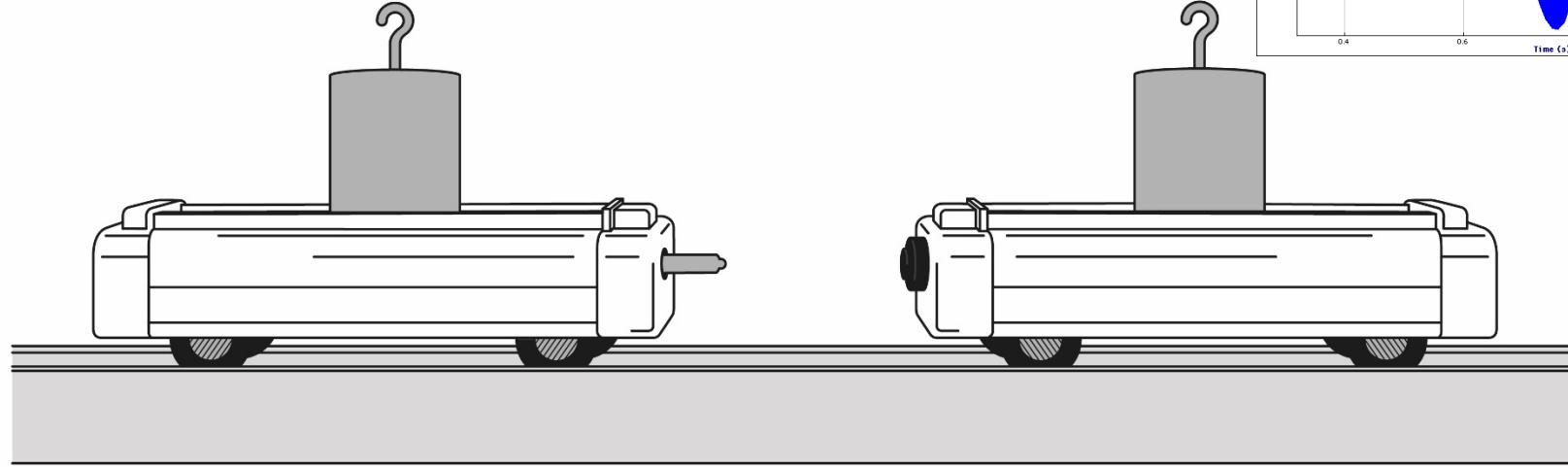
Typical answer:

«Yes, the girl has to press
with more force because she
has to invest more effort.»

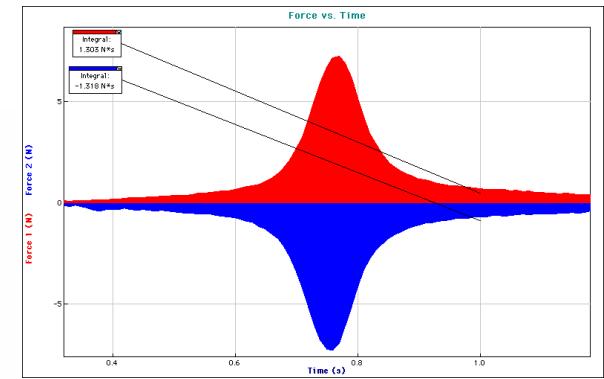
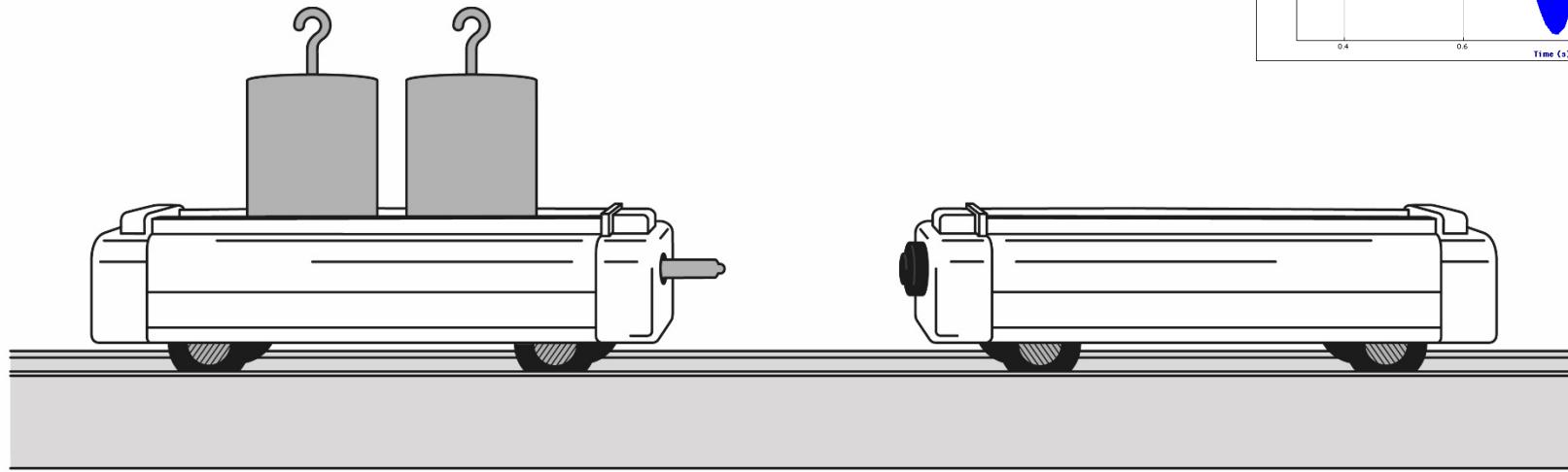


Do both persons have to press their hands with the same force to stay in an equilibrium?

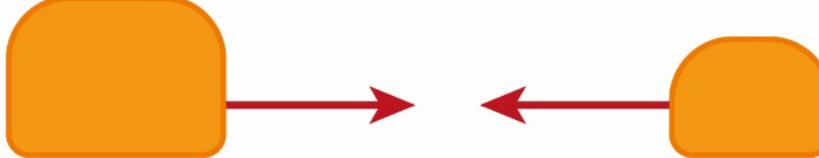
Which magnitude have the forces between two carts **of the same mass** if the carts collide?



Which magnitude have the forces between two carts **of different mass** if the carts collide?



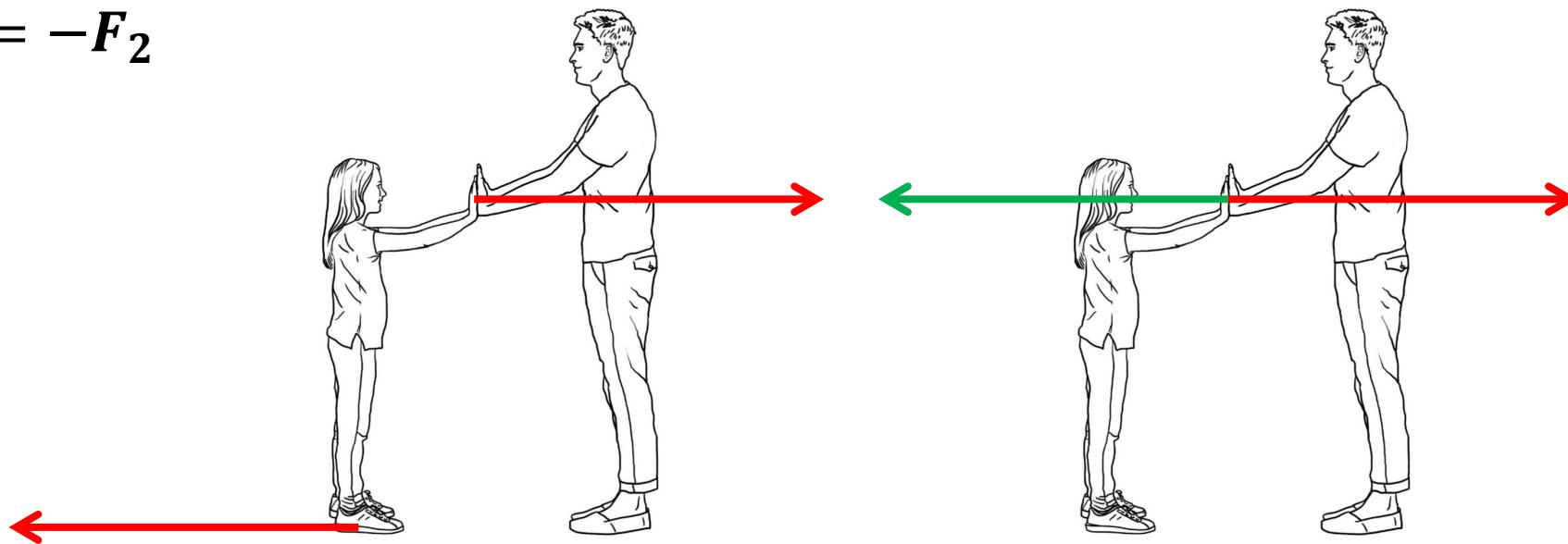
The difference between an equilibrium of forces and active and reactive forces

	
Equilibrium of forces: Two forces at one body	Active and reactive forces: Two bodies with one force each

Equilibrium of forces vs. active and reactive forces

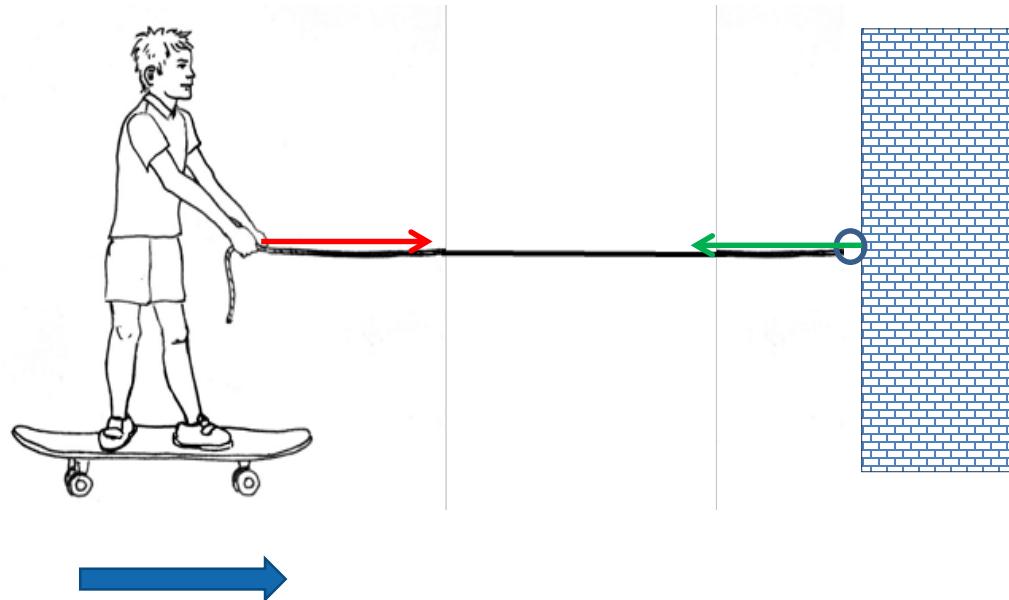


$$F_1 = -F_2$$

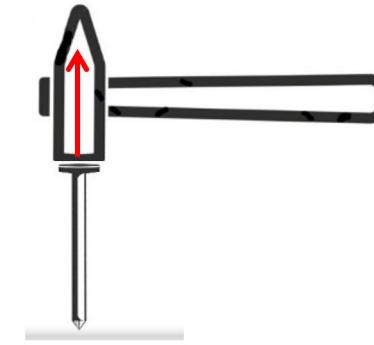
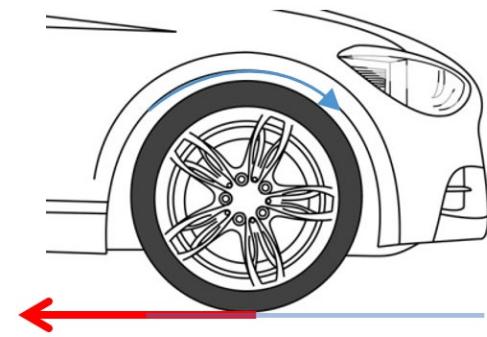
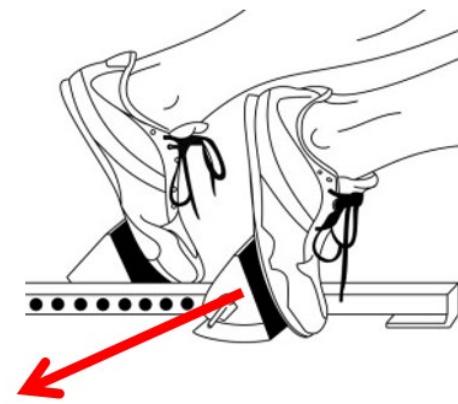
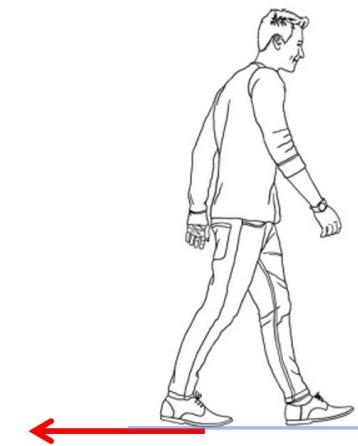
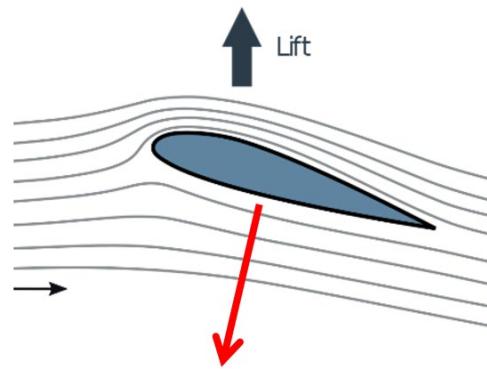


How can we promote conceptual change?

Start with problem-solving



Inventing with contrasting cases: Problem-Solving Followed by Instruction



Inventing with contrasting cases

- When Problem-Solving Followed by Instruction Is Superior to the Traditional Tell-and-Practice Sequence.
- Lennart Schalk, Ralph Schumacher, Armin Barth & Elsbeth Stern
- *Journal of Educational Psychology* (2017)

Tell & Practice	<i>Information about the slope of the graphs of linear functions</i>	<i>Instructions for practicing</i>	Test
Inventing with Contrasting Cases	<i>Instructions for constructing</i>	<i>Information about the slope of the graphs of linear functions</i>	

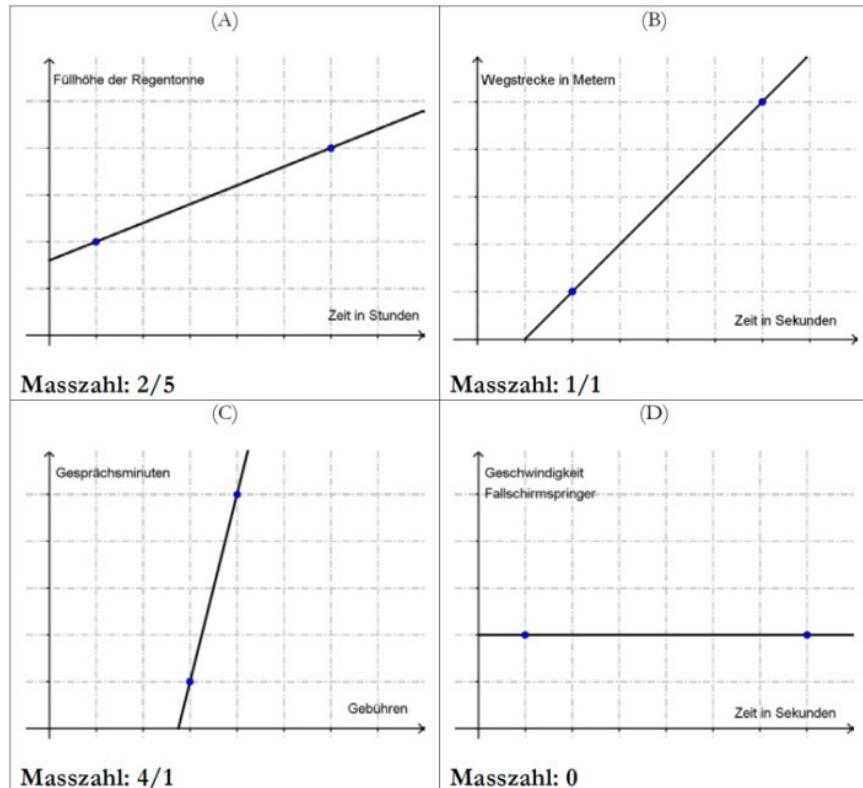


Number of students: 189 (94 female)

Mean age: 15,6 years

Inventing with contrasting cases

First: Problem-Solving

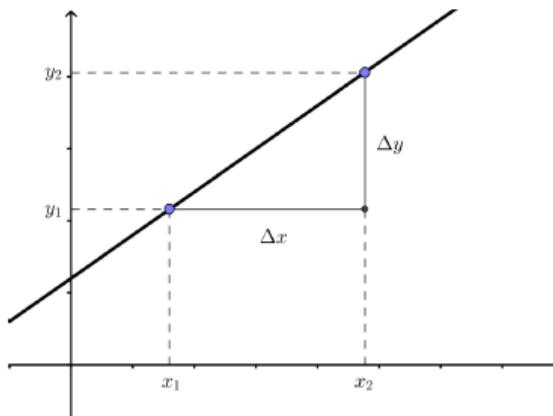


Then: Explanation

Lesen Sie bitte den folgenden Theorieeintrag:

Häufig treten Geraden in Koordinatensystemen als Graphen von linearen Funktionen in Erscheinung. Eine Gerade kann unter anderem dadurch charakterisiert werden, dass man ihre „Steilheit“ durch eine Masszahl ausdrückt.

Der Fachbegriff hierfür ist **Steigung**. Die Steigung ist also eine Masszahl für die Steilheit einer Geraden, und sie ist wie folgt definiert:

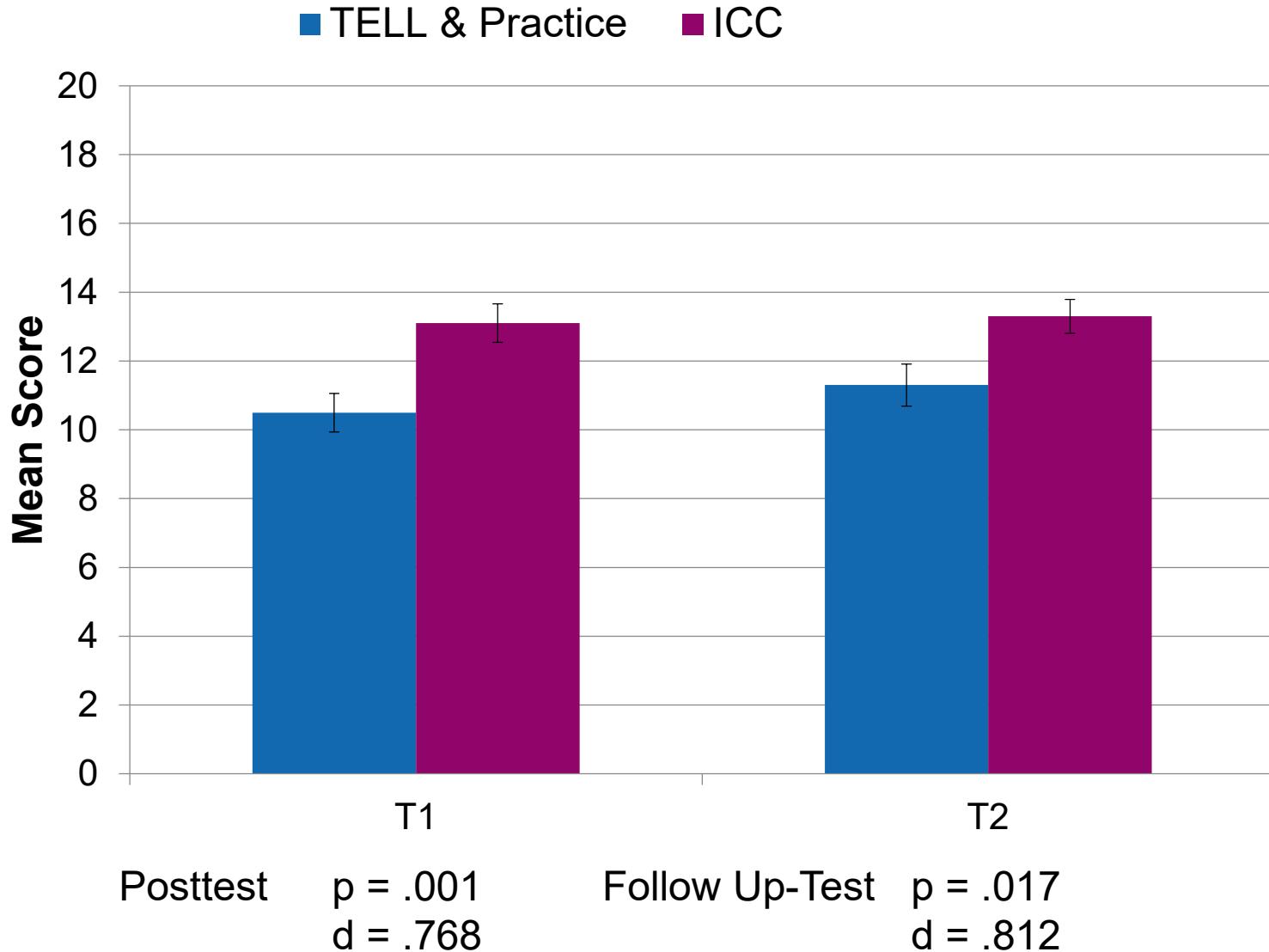


Führt eine Gerade durch zwei Punkte (x_1, y_1) und (x_2, y_2) mit $x_1 \neq x_2$, so ist die **Steigung m** definiert als das Verhältnis

$$m := \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Geraden, die von links nach rechts gesehen ansteigen, haben also eine positive Steigung, während Geraden, die von links nach rechts fallen, eine negative Steigung haben. Verläuft eine Gerade parallel zur x-Achse, so ist die Steigung 0, weil, unabhängig davon, wo man die beiden Punkte wählt, $\Delta y = 0$ ist. Geraden, die parallel zur y-Achse verlaufen, haben keine definierte Steigung, weil bei solchen Geraden $\Delta x = 0$ wäre und man nicht durch 0 dividieren kann.

Inventing with contrasting cases



Evidence-based cognitively activating learning methods

- Inventing with Contrasting Cases
- Productive Failure
- Comparing and Contrasting
- Improving Representational Competence with Mental Tools
- Prompts for Self-Explanations
- Holistic Mental Model Confrontation
- Metacognitive Questions

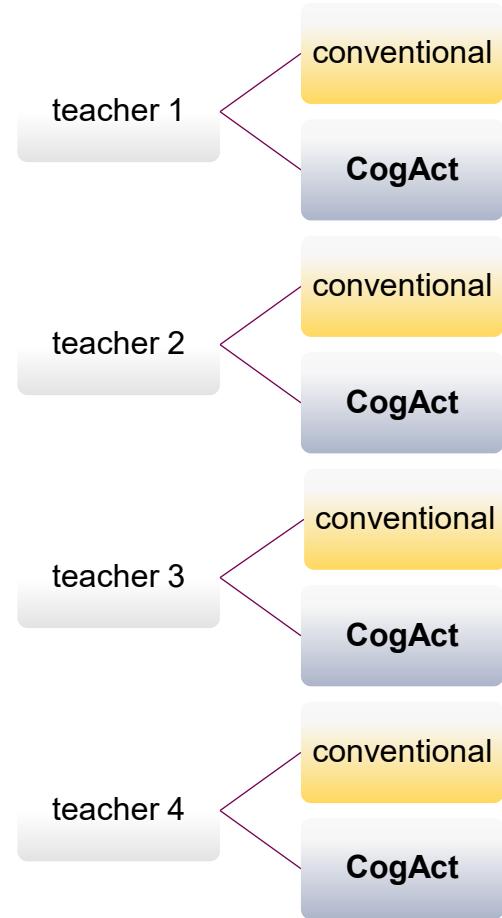
How can we promote conceptual change?

- **Enhancing Physics Learning with Cognitively Activating Instruction: A Quasi-Experimental Classroom Intervention Study.**
- **Sarah Hofer, Ralph Schumacher, Herbert Rubin & Elsbeth Stern**
- ***Journal of Educational Psychology (2018)***

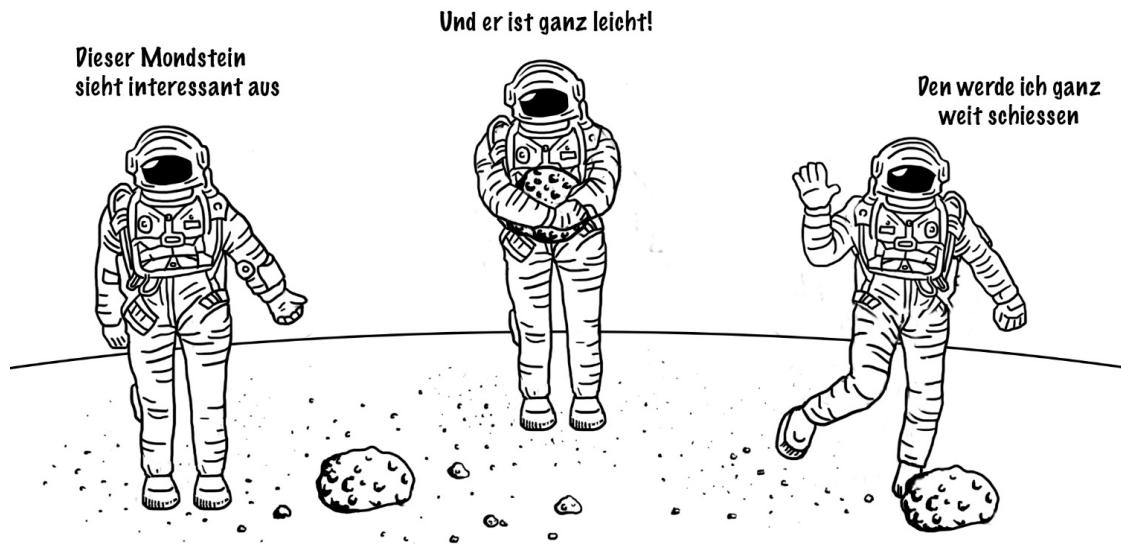


Number of students: 172 (54 % female)

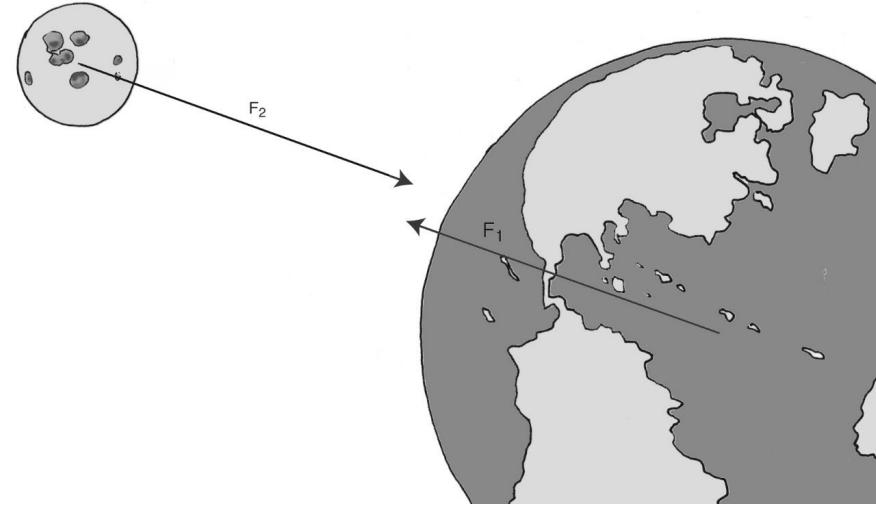
Mean age: 16 years



Prompts for self-explanations: actively revising misconceptions



How can you explain the difference between mass and weight?



How can you explain that earth and moon are mutually attracting each other with the same gravitational force?

How can we promote conceptual change?

- **Enhancing Physics Learning with Cognitively Activating Instruction: A Quasi-Experimental Classroom Intervention Study.**
- **Sarah Hofer, Ralph Schumacher, Herbert Rubin & Elsbeth Stern**
- ***Journal of Educational Psychology (2018)***

Results:

- Better conceptual understanding ($p < .01$)
- Better quantitative problem-solving performance ($p < .05$)
- Female students with above-average intelligence particularly benefited from CogAct instruction ($p < .05$)

The MINT Learning Center: Implementing cognitively activating methods into science education

Biology (5)



Patrick Faller

Chemistry (7)



Juraj Lipscher

Geology (1)



Tanja Frei

Mathematics (13)



Armin Barth



Andreas Vaterlaus

Physics (7)



Brigitte Hänger



Herbert Rubin



Christina Skirgaila



Adrian Zwyssig



Mojgan Hosseinzadeh



Lorenz Stäheli

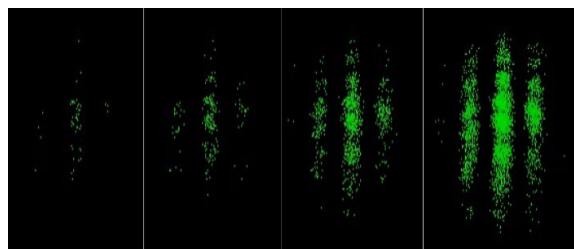
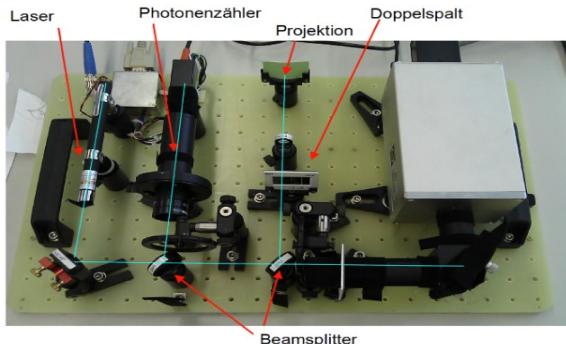


Marta Vazquez Alvarez

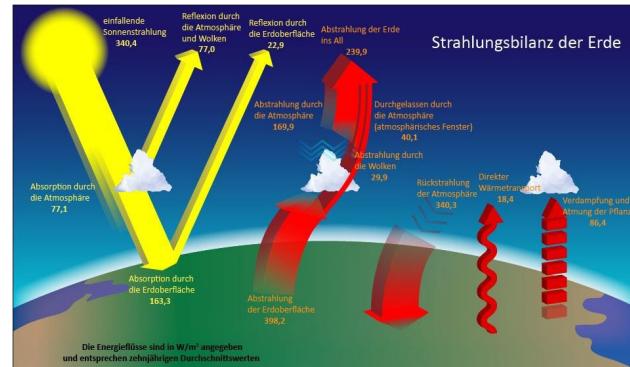
How we disseminate our teaching materials:

- Seminars for ETH teacher students
- In-service trainings for teachers
- The ETH Youth Academy: courses for students from class level 7 to 12 (Start: January 2021)

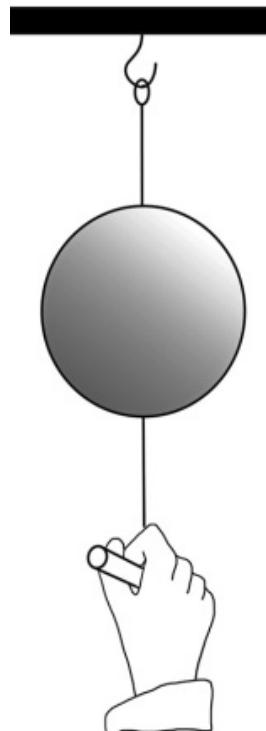
Quantum Physics



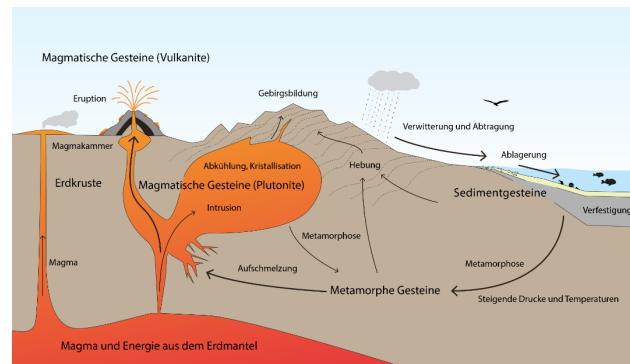
Chemistry & Physics of Climate Change



Mechanics



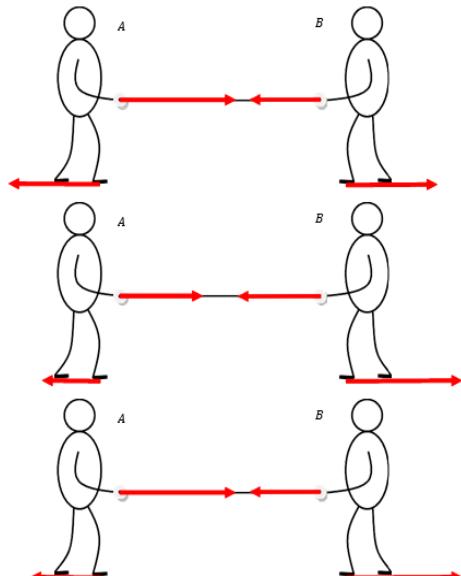
The Dynamics of Earth



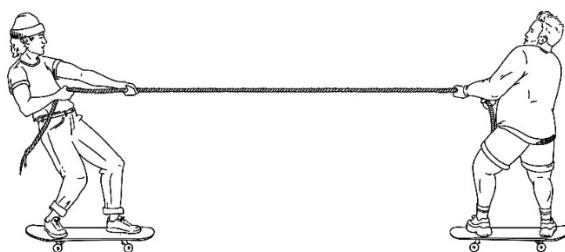
Advantages in understanding active and reactive forces

MINT lessons in school
N = 192 (50 % female)

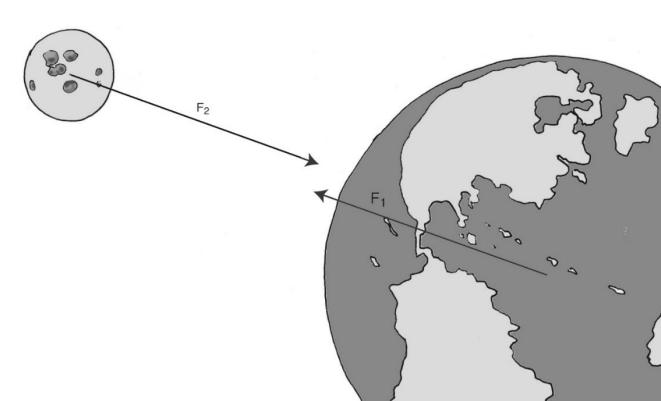
ETH Youth Academy
N = 22 (50 % female)



50.3 % / 68.2 %



28.2 % / 45.5 %



32.7 % / 50.0 %



29.4 % / 54.5 %

Mean age:

- 16 years (MINT lessons in school)
- 15 ½ years (ETH Youth Academy)

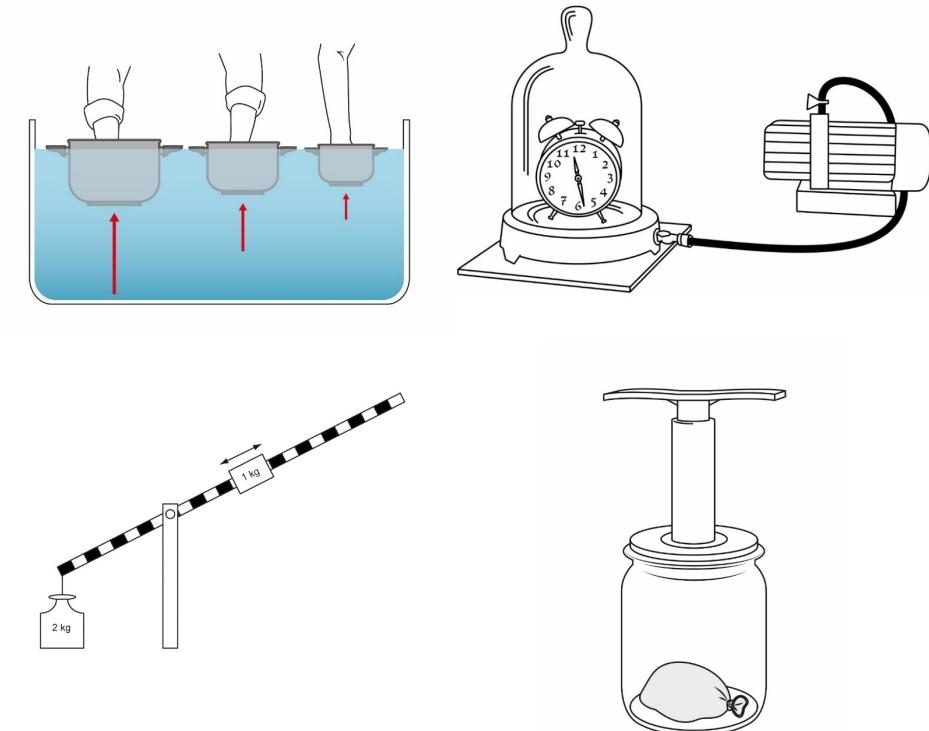
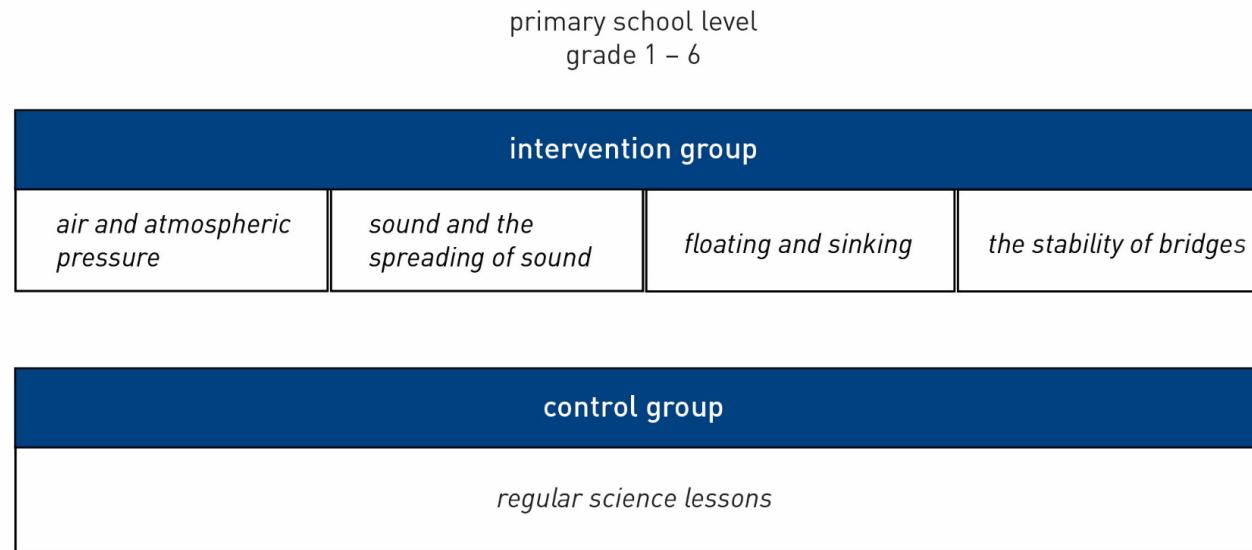
Top achievers:

- Female students: 30 %
- Female students: 50 %

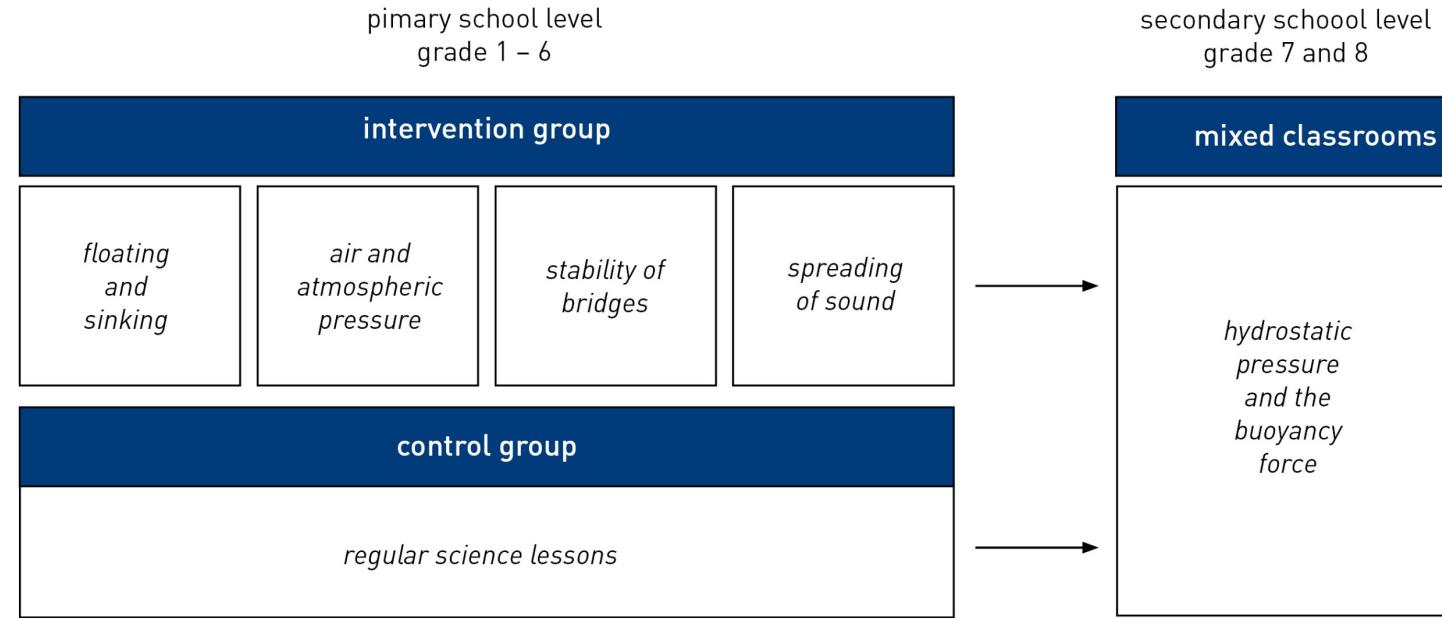
How can we better prepare students for future learning?

The Swiss MINT Study (since 2011)

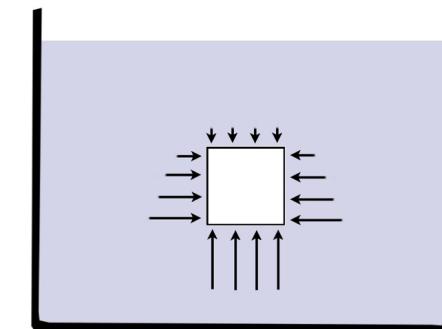
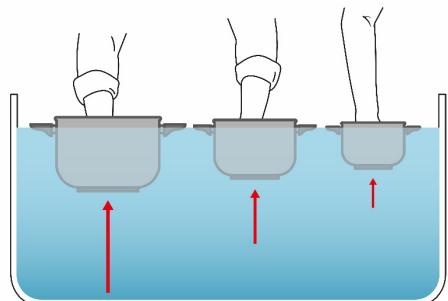
Registered students: > 18.000



Does prior knowledge about physics gained in primary school prepare for future learning in related content areas? (spiral curriculum)



Archimedean Principle



What gives rise
to the buoyancy
force?



Learning Gains (class level 1 – 6)

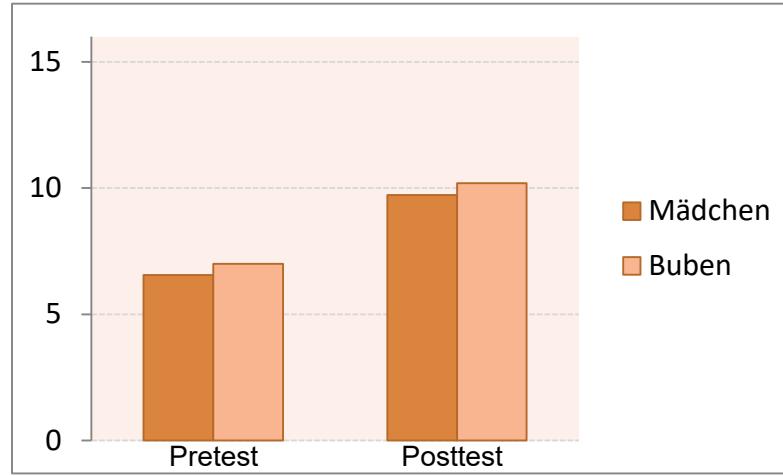
Effect size in Cohen's d

intervention					
unit	N	gain	standard deviation	p-value	effect size (test version 1/2)
Air	3351/2743 (6094)	3.12/2.97	2.67/2.47	<.001	1.14/1.20
Sound	4935	3.39	2.92	<.001	1.16
Floating & Sinking	5290	4.21	3.22	<.001	1.31
Bridges	1786/2046 (3832)	2.73/3.12	2.26/2.52	<.001	1.21/1.24
control					
unit	N	gain	standard deviation	p-value	effect size
Air	539	0.62	2.50	<.001	0.24
Sound	332	0.75	3.00	<.001	0.25
Floating & Sinking	566	0.53	2.04	<.001	0.26
Bridges	155	0.54	2.19	.002	0.25

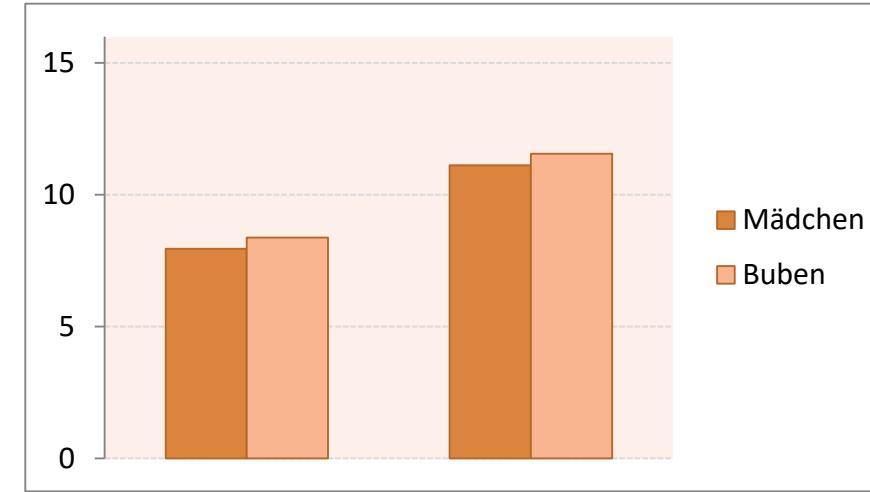


Girls and boys have similar learning gains

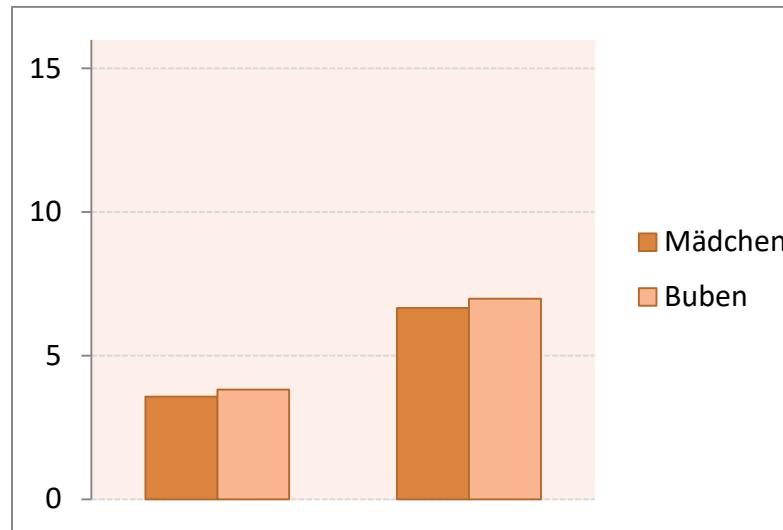
Air and Atmospheric Pressure



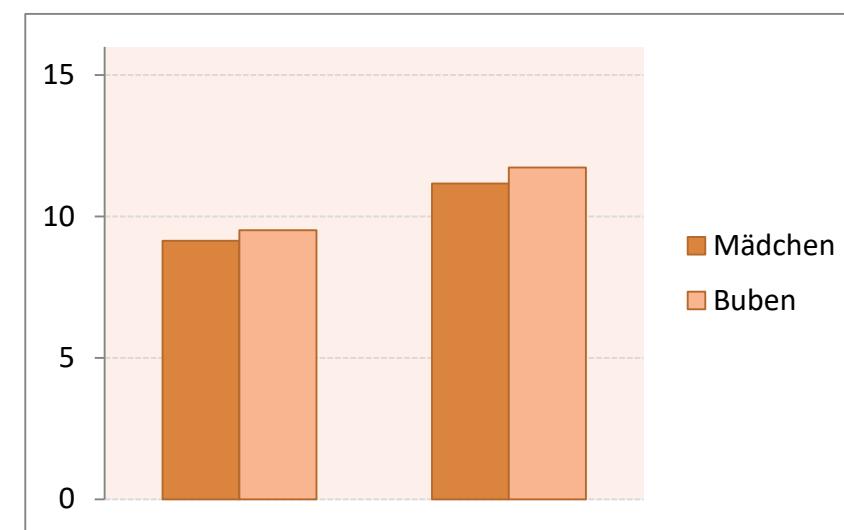
Sound and the Spreading of Sound



Floating and Sinking



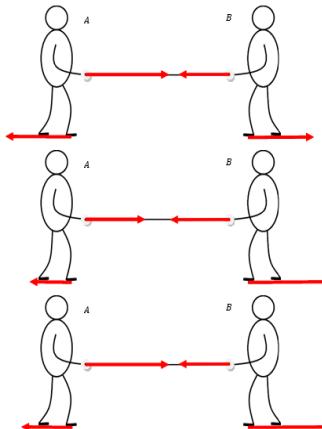
Bridges – and what makes them stable



From the Swiss MINT-Study to the ETH Youth Academy:

Promoting conceptual understanding and reducing the gender gap

- Top achievers from the Swiss MINT-Study are regularly invited to the courses of the ETH Youth Academy (top 20 %).
 - Spring 2021: 244 students (53 % female)
 - Fall 2021: 414 students (54 % female)
- More than 300 students are already registered for our newsletter (50 % female).



50.3 % / 68.2 %

- Top achievers:
- Female students: 30 % (MINT lessons in school)
 - Female students: 50 % (ETH Youth Academy)

with 7 videos

Intelligentes Wissen – und wie man es fördert

Wie kann man den Aufbau intelligenten Wissens fördern, das die Übertragung des Gelernten auf neue Situationen unterstützt? Wie kann man Lernende dazu bringen, ihr Wissen aktiv so umzugestalten, dass sie es erfolgreich zur Bewältigung neuer Anforderungen einsetzen können? Welche Optionen gibt es, um die Lernwirksamkeit des eigenen Unterrichts weiter zu optimieren, indem man zum Beispiel das Vorwissen der Lernenden besser einbezieht oder sie anleitet, neue Konzepte schrittweise zu konstruieren? Mit diesem Buch soll den Lesern ein praxisorientiertes Hilfsmittel an die Hand gegeben werden, mit dem es ihnen erleichtert wird, Ergebnisse der Lehr- und Lernforschung im eigenen mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht umzusetzen.

Wer erfolgreich lehren will, muss verstehen, wie Menschen lernen. Die Lehr- und Lernforschung stellt viele empirische Vergleichsstudien bereit, die belegen, welche kognitiv aktivierenden Lernformen den Aufbau intelligenten Wissens – bei gleichem Zeitaufwand – stärker fördern als herkömmlicher Unterricht. Damit Lehrpersonen darin unterstützen werden, diese Lernformen im Unterricht kompetent umzusetzen, bietet dieses Buch einen Leitfaden, der mit vielen mathematisch-naturwissenschaftlichen Beispielen veranschaulicht, wie sich diese besonders lernwirksamen Unterrichtsmethoden konkret umsetzen lassen.

In diesem Buch stehen Inhalte im Mittelpunkt, die in den MINT-Fächern am Gymnasium unterrichtet werden. Verständnisschwierigkeiten der Lernenden und Möglichkeiten, diesen im Unterricht zu begegnen, werden ausführlich behandelt. Sämtliche Beispiele stammen aus den Unterrichtseinheiten des MINT-Lernzentrums der ETH Zürich. Die Themen sind so gewählt, dass sie zentrale Inhalte des mathematisch-naturwissenschaftlichen Curriculums beschreiben. Jedes Kapitel enthält eine Beschreibung des Forschungsstands und viele erprobte Beispiele zur Umsetzung der kognitiv aktivierenden Lernformen. Videos zu jedem Kapitel runden dieses Angebot ab.

Die Herausgeber

Ralph Schumacher ist Kognitionswissenschaftler und leitet das MINT-Lernzentrum der ETH Zürich.

Elsbeth Stern ist Professorin für Lehr- und Lernforschung an der ETH Zürich.



Schumacher · Stern Hrsg.

Ralph Schumacher
Elsbeth Stern Hrsg.

LEHRBUCH

Intelligentes Wissen – und wie man es fördert

Kognitiv aktivierende Lernformen
für den mathematisch-
naturwissenschaftlichen
Unterricht





Thank you for your
attention!

