

# Lernwirksam unterrichten in Mathematik und Naturwissenschaften



**Elsbeth Stern**  
**Professur für Lehr- und Lernforschung**



**TIMS/III Aufgabe:** Die Beschleunigung eines sich geradlinig bewegenden Objektes kann bestimmt werden aus

- **Der Steigung des Weg-Zeit-Graphen**
- **Der Fläche unter dem Weg-Zeit-Graphen**
- **Der Steigung des Geschwindigkeits-Zeit-Graphen**
- **Der Fläche unter dem Geschwindigkeits-Zeit-Graphen**

**Prozent korrekte Lösung bei deutschen Abiturienten**

- **Deutschland: mit Leistungskurs Mathematik: 50%**
- **Deutschland: mit Grundkurs Mathematik: 44%**
- **Schweiz: 60%**
- **International 67%**



## Warum können Maturanden die Aufgabe nicht lösen?

- Sie haben **träges Wissen** erworben
- Beschleunigung wurde als Definition in der Physik gelernt und längst wieder vergessen
- Der Graph wurde nicht als Denkinstrument verstanden, sondern als Darstellungsmöglichkeit
- Weg-Zeit-Graph ist bekannt, mit Bekanntem fährt man besser
- Konzeptuelles Verständnis wie "Rate der Veränderung" wurde nicht erarbeitet, obwohl gerade darin das Transferpotenzial liegt.

# Probleme im MINT-Unterricht

- Formeln statt Konzepte
- Konzeptverständnis ist ein langfristiger Prozess
- Lehrer müssen den Prozess der Wissenskonstruktion verstehen

# Newton

Nachdem ein Körper angestossen wurde, gleitet er auf einer glatten Oberfläche reibungs- und luftwiderstandsfrei dahin. Welche Aussagen treffen zu?

- Der Schwung durch das Anstossen verbraucht sich mit der Zeit. Deshalb wird der Körper immer langsamer, bis er schliesslich zum Stillstand kommt.
- Da er sich bewegt, muss auf den Körper eine Kraft in Bewegungsrichtung wirken.
- Die Masse des Körpers wirkt der Bewegung entgegen. Je schwerer der Körper ist, desto schneller wird er zur Ruhe kommen.
- Der Körper gleitet mit konstanter Geschwindigkeit über die Oberfläche.
- Der Körper ändert seine Bewegung nicht, weil keine horizontale Kraft auf ihn wirkt.

# Newton

Nachdem ein Körper angestossen wurde, gleitet er auf einer glatten Oberfläche reibungs- und luftwiderstandsfrei dahin. Welche Aussagen treffen zu?

- Der Schwung durch das Anstossen verbraucht sich mit der Zeit. Deshalb wird der Körper immer langsamer, bis er schliesslich zum Stillstand kommt.
- Da er sich bewegt, muss auf den Körper eine Kraft in Bewegungsrichtung wirken.
- Die Masse des Körpers wirkt der Bewegung entgegen. Je schwerer der Körper ist, desto schneller wird er zur Ruhe kommen.
- Der Körper gleitet mit konstanter Geschwindigkeit über die Oberfläche.
- Der Körper ändert seine Bewegung nicht, weil keine horizontale Kraft auf ihn wirkt.

# Was lernt man als Maschinenbaustudent an der ETH in der Vorlesung Mechanik 1?



Was lernt man als Maschinenbaustudent an der ETH  
in der Vorlesung Mechanik 1?

Lösungsrate NACH Besuch der Vorlesung:  
52%





# Wo misslingt der Aufbau intelligenten Wissens?

- Alltagsvorstellungen in der Physik sind hartnäckig – auch bei Menschen mit sehr gutem Lernpotenzial
- Lernen bedeutet immer Anknüpfen an das Vorwissen- im Guten wie im Schlechten
- Das menschliche Gehirn ist nicht direkt auf den Erwerb schulischer Lerninhalte vorbereitet

## Jahre, seitdem .....

- **40.000: menschliches Genom und damit auch die Funktionsweise des Gehirns sind relativ stabil**
- **5.000: Schrift in Gebrauch**
- **3.000: mathematische Symbolsysteme in Gebrauch**
- **2.200: Konzept der Dichte (Archimedes)**
- **800: Arabisches Zahlensystem in Europa gängig**
- **400: Analytische Geometrie entwickelt (Descartes)**
- **300: Mechanik (Newton)**
- **60: Struktur der DNA bekannt**

# Wissen als der Schlüssel zum Können

- Wissen DASS
- Deklatives Wissen (Fakten und Konzepte/Begriffe)
- Wissen WIE
- Prozedurales Wissen (automatisierte Handlungen)
- Der Unterschied zwischen diesen beiden Wissensarten ist wichtig für lernwirksamen Unterricht.



Ehct kstras! Das ghet wicklirh!  
Luat eneir Sutide eneir elgnihcesn  
Uvinisterät ist es nchit witihcg, in  
wlecehr Rneflogheie die  
Bstachuebn in eneim Wrot  
vrommkeon. Das enizig Wcthieig  
ist, dsas der estre und der leztte  
Bstabchue an der ritihcegn  
Pstooion setehn. Der Rset knan  
ein ttoaerl Bsinöldn sien,  
tedztorm knan man ihn onhe  
Pemoblre lseen. Das ist so, wiel  
wir nciht jeedn Bstachuebn  
enzelin leesn, snderon das Wrot  
als gseatems.  
Und jzett veil Sapsß biem Rltsäen!

# Welche Lernvorgänge erzeugen automatisiertes prozedurales Wissen?

- Wiederholung
- Lernen am Erfolg
- Eventuell durch externe Steuerung (operantes Konditionieren)
- Fehler können den Lernprozess verzögern

# Warum der Erwerb von anwendbarem **konzeptuellem** Wissen ungleich schwieriger ist

- Säugetier
- Gewicht
- Trägheit
- Menschen und Affen
- Mathematik:  $1+2=3+4=7+5=12$
- Bedeutung von =



## Was verändert sich durch Lernen und Entwicklung?

- **Nicht: Anders denken, sondern anders wissen**
- Charakteristische vs. definatorische Merkmale: Säugetier
- Sinnliche Erfahrung vs. physikalische Begriffe: Gewicht, Bewegung, Trägheit
- Kraft: Funktion statt Eigenschaft

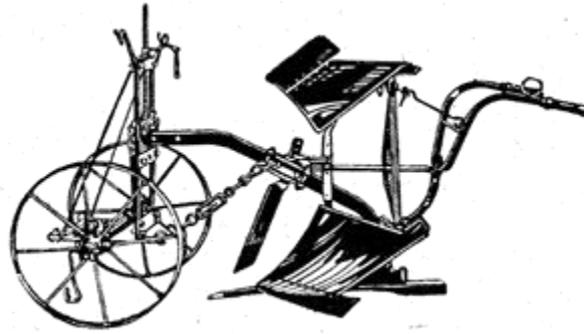
# Experten (Lehrpersonen) sehen die Welt anders als Novizen (Schüler)

# Kategorisierung von Gebrauchsgegenständen

**Alltagswissen:**  
**Bestehen aus Stahl**



**Physikwissen:**  
**Funktion beruht auf der Wirkung von Kräften**



# Alltagskonzepte: Klassifikation nach dem Einsatzbereich



Haushalt



Landwirtschaft



Handwerk

# Klassifikation nach physikalischen Prinzipien



# Was ist eine Maschine?

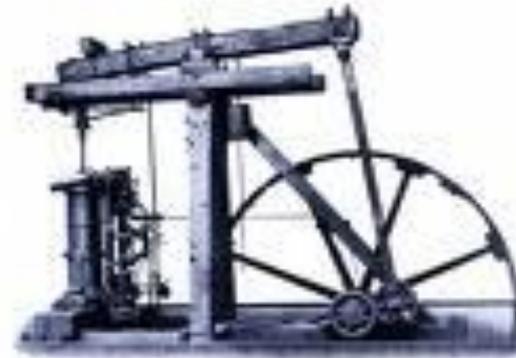


PLATE NO. 101 "LAP" ENGINE, 1780  
Collection of the Science Museum



Unter einer Maschine versteht man in der **Physik** Vorrichtungen, welche Ansatzpunkt, Richtung oder Größe einer **Kraft** verändern, um die vorhandene Kraft möglichst zweckmäßig zur Verrichtung von **Arbeit** einzusetzen.



## Wann ist der Gürtel eine Maschine?



# Lerngelegenheiten, die den Aufbau von Begriffsnetzwerken unterstützen

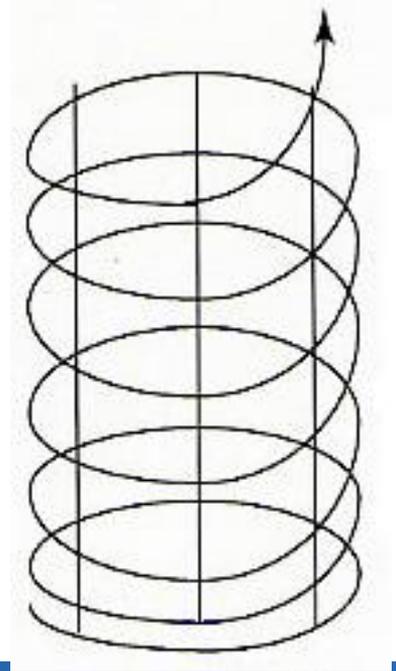
## **NICHT**

- **Lernen von Merksätzen, Definitionen und Formeln**
- **probieren, Versuch und Irrtum**

## **Sondern**

- **Arbeit am Vorwissen: Gelegenheiten zur Ko-Konstruktion von Wissen in Gesprächen (Selbsterklärungen, Metakognitionstraining)**
- **Kognitiv aktivierende Lernformen**
- **ZEIT: Spiralcurriculum**

- Immer in Kompetenzen denken
- Anschlussfähiges Wissen statt Hirntraining
- Welche Textaufgaben muss ich in der 2. Klasse vorgeben, damit die Schüler sechs Jahre später Algebra verstehen?
- Spiralcurriculum: Wissen anlegen, das später umstrukturiert werden kann



# Drei Studien zum schulischen Lernen

- 1) Physik in der Primarschule: Geht das?
- 2) Kognitive Aktivierung im Unterricht zur Mechanik
- 3) Wünschenswerte Erschwernisse beim Lernen von Algebra

# Schweizer MINT Studie: Seit 2011

- Auswirkungen von **optimiertem naturwissenschaftlichem Unterricht** ab der Primarschule: **Kognitive Aktivierung**
  - Erfahrungsbasiert
  - Vorwissen
  - Argumentation
  - Selbsterklärungen
  - Luft & Luftdruck
  - Schall
  - Schwimmen & Sinken
  - Brücken

**JACOBS**  
FOUNDATION

**D GESS**



**MINT**

# Die Arbeit mit 300 Lehrern und 6000 Schülern machen...



Ralph  
Schumacher



Peter  
Edelsbrunner



Lennart  
Schalk



Anne  
Deiglmeyer

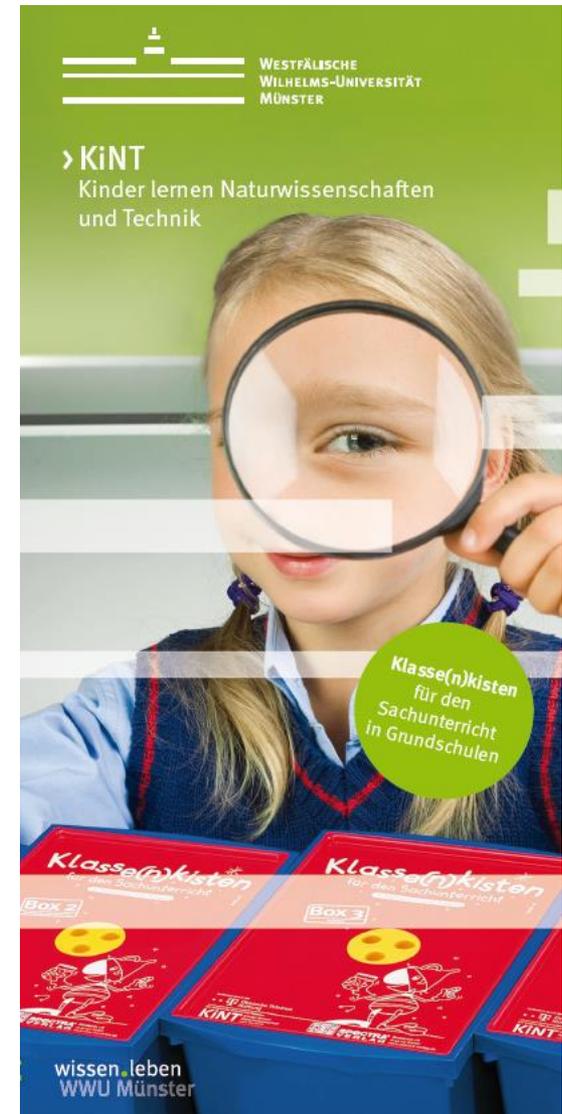
# KiNT-Unterrichtsmaterialien

Luft und Luftdruck

Schall – was ist das?

Schwimmen und Sinken

Brücken – und was sie stabil macht



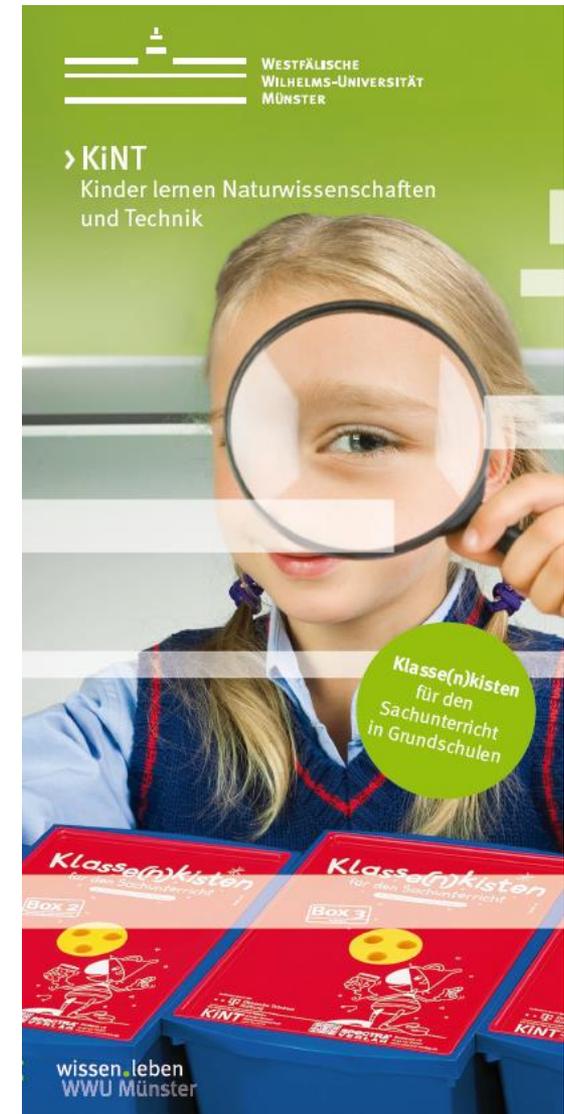
# KiNT-Unterrichtsmaterialien

**Luft und Luftdruck**

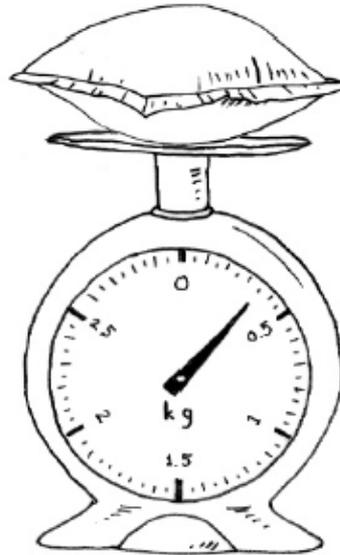
**Schall – was ist das?**

**Schwimmen und Sinken**

**Brücken – und was sie stabil macht**



Das Schwimmkissen ist zuerst nicht aufgepumpt. Du wiegst es. Dann pumpst du es ganz fest auf und wiegst es noch einmal.



- Nun ist es ein bisschen schwerer als vorher, weil die Luft im Schwimmkissen auch etwas wiegt.
- Es ist genauso schwer wie vorher, weil die Luft im Schwimmkissen nichts wiegt.
- Es ist ein bisschen leichter als vorher, weil es die Luft im Schwimmkissen nach oben zieht.

# Sequenz 1: Hat Luft Gewicht?



**Abb. 48:** Die Kinder pumpen den Ball auf und wiegen ihn. Sie stellen fest, dass er mehr wiegt als der nicht aufgepumpte Ball.

# Die Wirkung des Luftdrucks anhand verschiedener Versuche erfahren: Glas am Mund



**Abb. 64:** Ein Kind hält einen Becher vollständig über den Mund und atmet durch den Mund ein.



**Abb. 65:** Das Kind lässt den Becher los und beobachtet, dass der Becher über dem Mund haften bleibt.

■ Prä-Post-Aufgabe 4: **Glas am Mund – Was passiert wohl, wenn du die Luft aus diesem Glas einatmest und dann loslässt?**

vor dem Unterricht	nach dem Unterricht
<p><i>Dann bleibt das dran. Weil keine Luft mehr drin ist. Weil, ich sauge sie ja raus. Ich verbrauche ja die Luft.</i></p>	<p>Dann bleibt das am Mund so stecken. Weil da ein Vakuum dann ist, weil du die Luft rausholst. Weil da keine Luft drin ist. Und von außen drückt die Luft glaube ich dran oder so ähnlich. Die presst das dran.</p>
<p><i>Dann bleibt das Glas kleben. Wenn man das Teil dranhält und dann so einsaugt, dann bleibt's so kleben.</i></p>	<p><b>Dann bleibt das dran. Weil man die Luft ja da rauszieht und die Luft, die so außen drum herum ist, drückt ja gegen.</b></p>
<p><i>Also ich habe die Luft eingeatmet, aus dem Glas, und dann hat sich das Glas hier [zeigt auf ihren Mund] irgendwie befestigt.</i></p>	<p><b>Also wenn man das so hat, dann drückt die Luft von überall auf das Glas und da drin geht die Luft raus und dann drückt von außen die Luft da dran.</b></p>
<p><i>Der Becher bleibt kleben, als ich die Luft eingeatmet habe, die war im Becher, deswegen bleibt der kleben.</i></p>	<p><b>Dass der Becher so daran gedrückt wurde. Weil keine Luft mehr drin war und die Luft von außen den Becher daran gedrückt hat.</b></p>

**Wie kommt es, dass ein kleines Stück Stahl untergeht,  
aber ein grosses, schweres Schiff aus Stahl schwimmt?**



Hardy, I., Jonen, A., Möller, K., & Stern, E. (2006). Why does a large ship of iron float? Conceptual change in elementary school children. *Journal of Educational Psychology*.

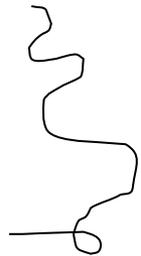
**Ein Metalldraht wird ins Wasser getaucht.**

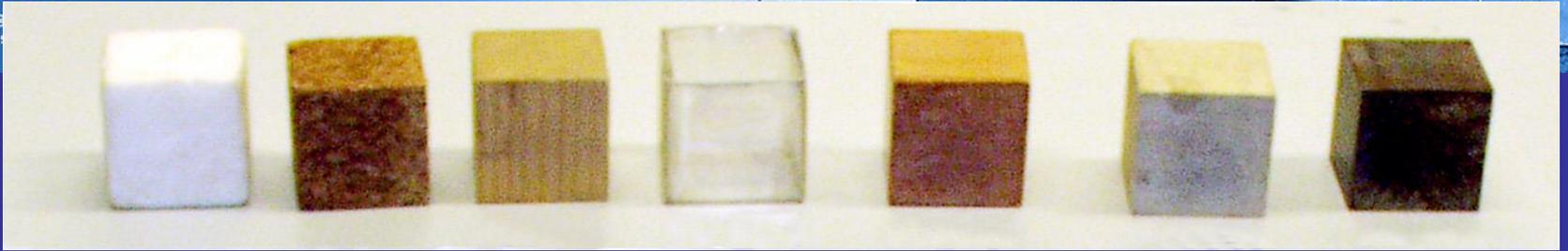
**Was passiert?**

geht unter

steigt nach oben

- weil er sich festhält.
- weil das weggedrängte Wasser weniger wiegt als der Metalldraht.
- weil er so lang und dünn ist.
- weil das weggedrängte Wasser mehr wiegt als der Metalldraht.
- weil er aus Metall ist.
- weil er vom Wasser nicht stark genug nach oben gedrückt wird.
- weil er so leicht ist.





Styropor

Kork

Holz

Wasser

Ton

Stein

Eisen



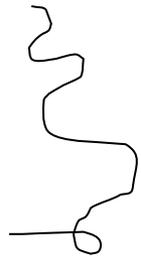
Ein Metalldraht wird ins Wasser getaucht.

Was passiert?

geht unter

steigt nach oben

- weil er sich festhält.
- weil das weggedrängte Wasser weniger wiegt als der Metalldraht.**
- weil er so lang und dünn ist.
- weil das weggedrängte Wasser mehr wiegt als der Metalldraht.
- weil er aus Metall ist.
- weil er vom Wasser nicht stark genug nach oben gedrückt wird.**
- weil er so leicht ist.



# Lernzuwachs

## Experimentalgruppe

<i>Thema</i>	<i>Anzahl SchülerInnen</i>	<i>Zugewinn (Punkte)</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Signifikanz</i>	<i>Effektgrösse</i>
<b>Luft &amp; Luftdruck</b>	2228	3.24	2.70	.000	1.20
<b>Schall</b>	2024	3.44	2.99	.000	1.15
<b>Schwimmen &amp; Sinken</b>	2104	3.45	2.93	.000	1.18
<b>Brücken</b>	1318	2.38	2.21	.000	1.08

## Kontrollgruppe

<i>Thema</i>	<i>Anzahl SchülerInnen</i>	<i>Zugewinn (Punkte)</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Signifikanz</i>	<i>Effektgrösse</i>
<b>Luft &amp; Luftdruck</b>	533	0.68	2.50	.000	0.27
<b>Schall</b>	333	0.78	3.00	.000	0.26
<b>Schwimmen &amp; Sinken</b>	412	0.22	1.73	.009	0.13
<b>Brücken</b>	176	0.58	2.17	.001	0.27

# Beispielaufgaben

## Luft & Luftdruck

Du drückst zwei Ausgussreiniger so aneinander, dass die Luft zwischen ihnen herausgepresst wird. Was passiert?



- Die Ausgussreiniger haften aneinander, weil Gummi immer an Gummi klebt.
- Die Ausgussreiniger haften nicht aneinander.
- Der Luftdruck wirkt rechts und links auf die Ausgussreiniger und presst sie aneinander.
- Die beiden Ausgussreiniger saugen sich gegenseitig an.

# Beispielaufgaben Luft & Luftdruck

Experimentalgruppe		Kontrollgruppe	
Vortest	Nachtest	Vortest	Nachtest

14 %      10 %      20 %      10 %

18 %      11 %      21 %      18 %

27 %      56 %      27 %      36 %

42 %      23 %      33 %      37 %

Die Ausgussreiniger haften aneinander, weil Gummi immer an Gummi klebt.

Die Ausgussreiniger haften nicht aneinander.

Der Luftdruck wirkt rechts und links auf die Ausgussreiniger und presst sie aneinander.

Die beiden Ausgussreiniger saugen sich gegenseitig an.

# Beispielaufgaben

## Schwimmen & Sinken

Hier sind vier gleich große Kugeln.  
Sie sind unterschiedlich schwer.

Wie hoch steigt das Wasser im Glas bei jeder Kugel?

Zeichne jeweils den Wasserstand ein.

So hoch steigt das Wasser, wenn man die rote Kugel in das Glas legt.

The diagram shows four identical glasses arranged horizontally. The first glass on the left contains a red sphere at the bottom and is partially filled with light blue water. An arrow points to this glass from the text on the left. Below the first glass is the weight '40g'. The second glass contains an orange sphere at the bottom and is empty. Below it is '90g'. The third glass contains a darker orange sphere at the bottom and is empty. Below it is '80g'. The fourth glass contains a yellow sphere at the bottom and is empty. Below it is '20g'.

# Beispielaufgaben Schwimmen & Sinken

**Experimentalgruppe**      **Kontrollgruppe**

1 Punkt wenn alle 3 Striche richtig gesetzt

Vortest      Nachtest      Vortest      Nachtest

0.16

0.55

0.12

0.15

Hier sind vier gleich große Kugeln.  
Sie sind unterschiedlich schwer.

Wie hoch steigt das Wasser im Glas bei jeder Kugel?

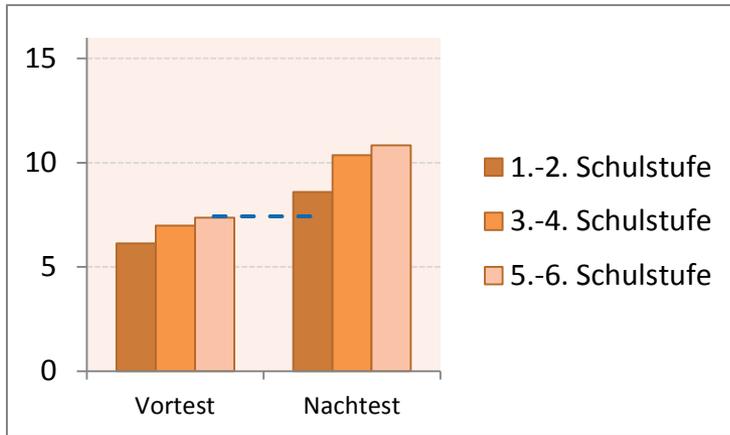
Zeichne jeweils den Wasserstand ein.

So hoch steigt das Wasser, wenn man die rote Kugel in das Glas legt.

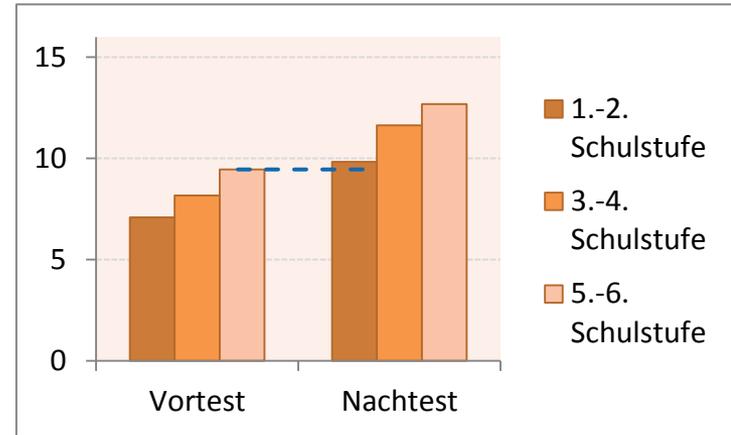
The diagram shows four identical glasses. The first glass on the left contains a red sphere and a light blue liquid (water) up to a certain level. An arrow points to this glass with the text 'So hoch steigt das Wasser, wenn man die rote Kugel in das Glas legt.' Below this glass is the weight '40g'. To its right are three more glasses, each containing a different colored sphere (orange, red, yellow) and no liquid. Below these glasses are the weights '90g', '80g', and '20g' respectively.

# Vergleich zu Lernzuwachs der Kontrollgruppe

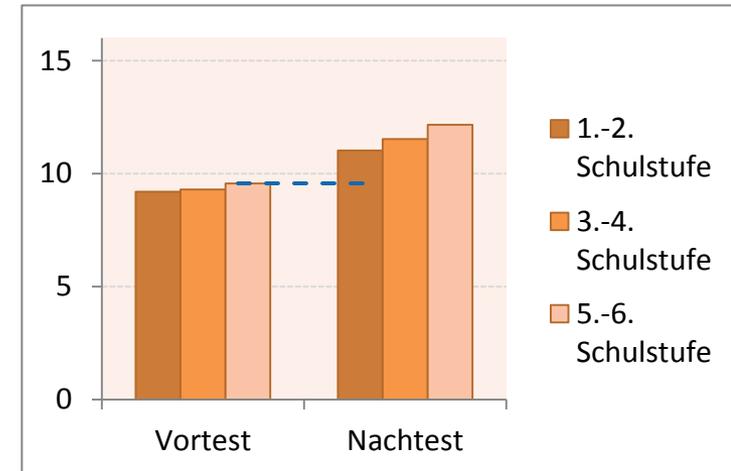
LL



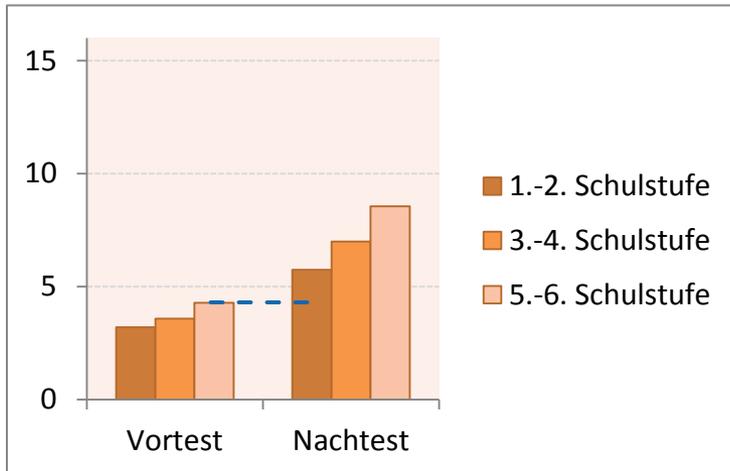
S



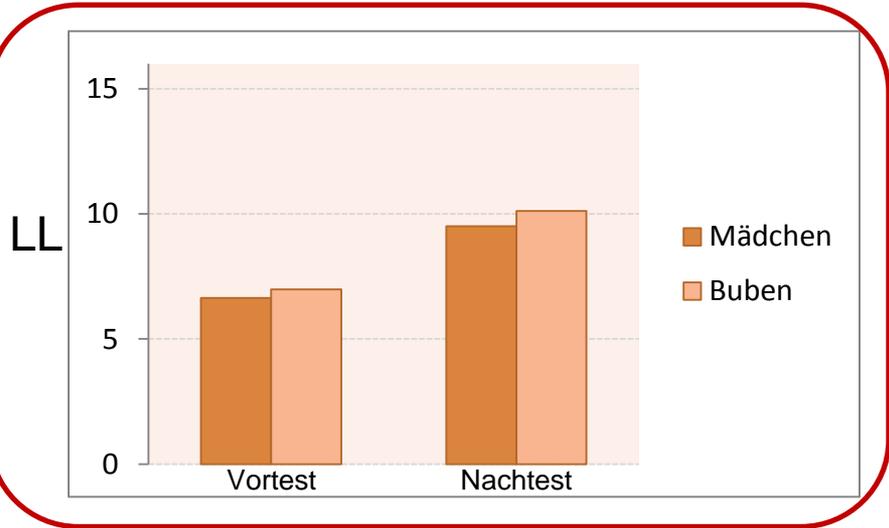
B



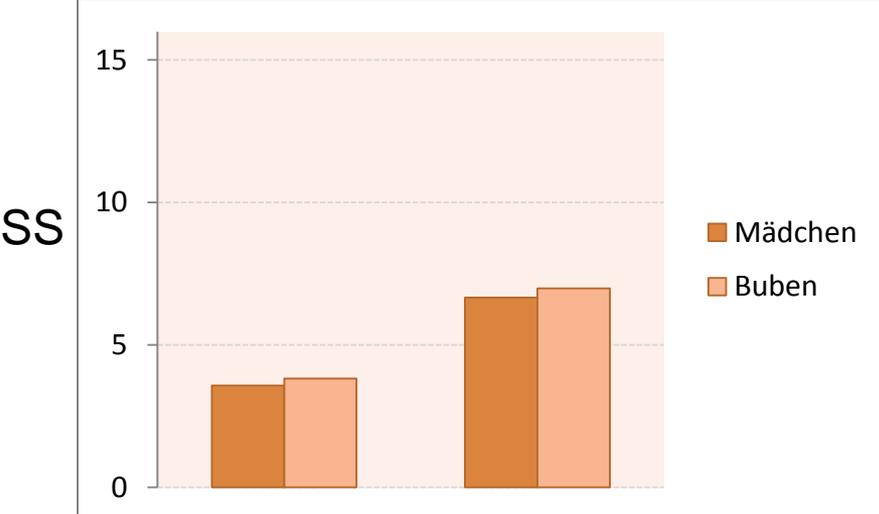
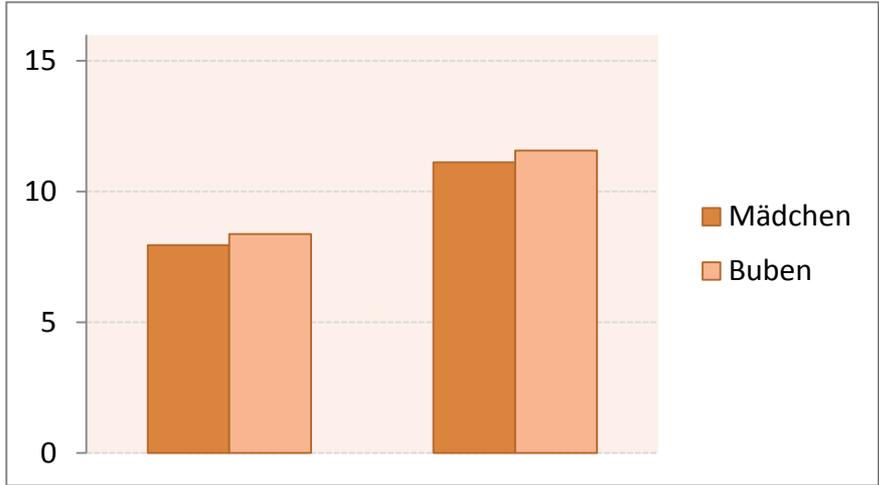
SS



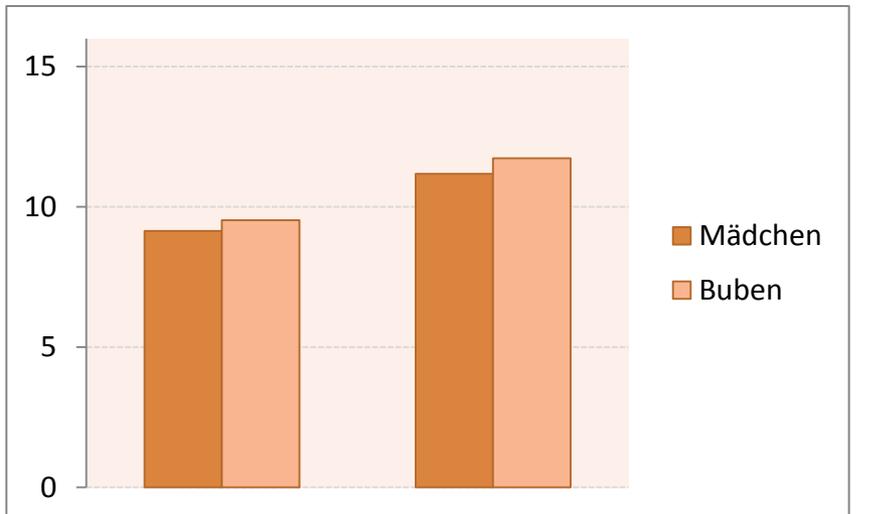
# Entwicklung von Geschlechterunterschieden



S



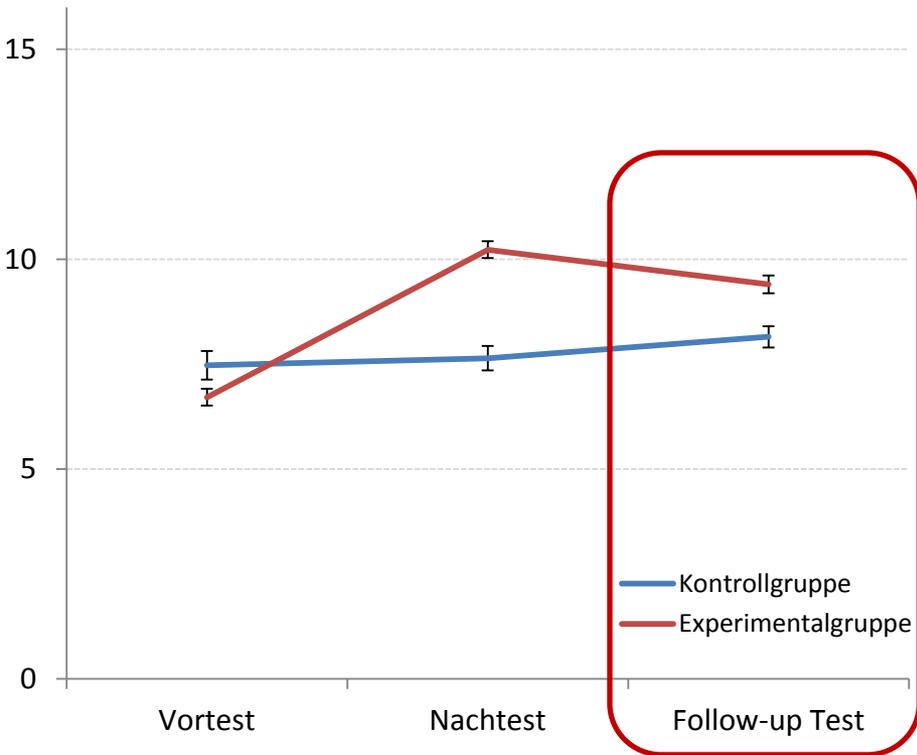
B



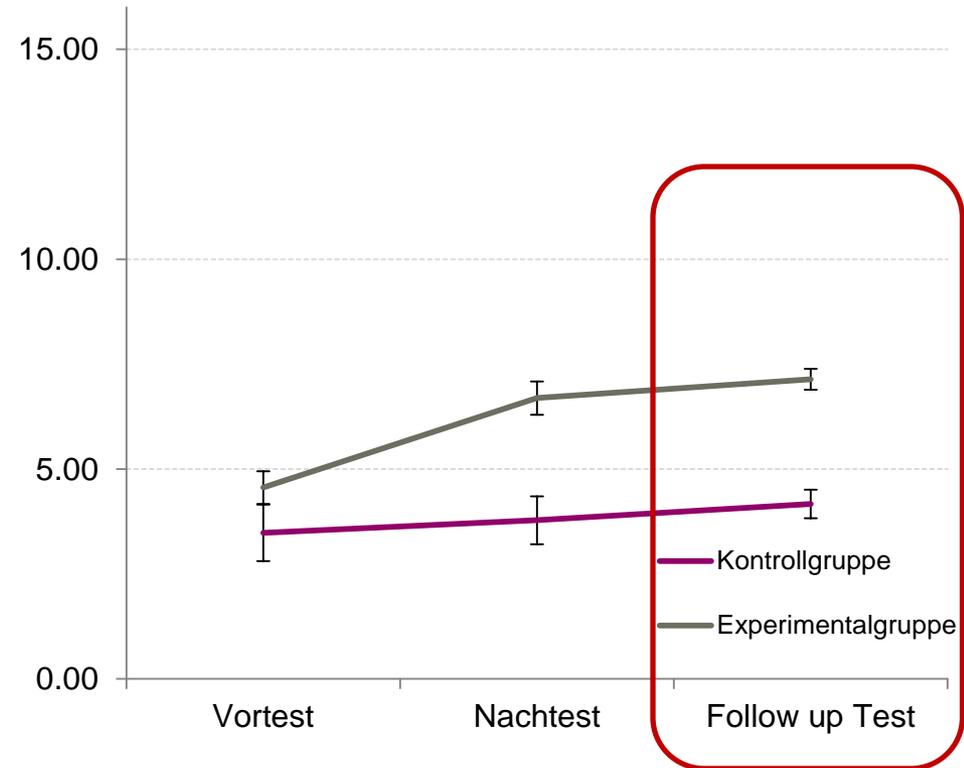
**D GESS**

# Follow-up Test nach einem Jahr

## Luft und Luftdruck



## Schwimmen und Sinken



# Lerntransfer auf Experimentierverständnis?

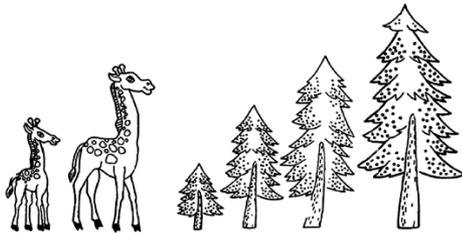
# Konklusive Testung (links) & Variablenkontrolle (rechts)

## 1. Welche Giraffe hat die Karotte gefressen?

Gabi, die Tierpflegerin, weiss, dass Giraffen gerne Karotten essen. Im Zoo gibt es zwei verschieden grosse Giraffen:

- Die grosse Giraffe kommt mit ihrem langen Hals an alle Baumspitzen der vier Bäume dran, die im Giraffengehege stehen.
- Die kleine Giraffe kann nur die Baumspitzen der zwei kleineren Bäume im Gehege erreichen.

Am Abend hat Gabi an der zweitkleinsten Tanne eine Karotte oben an der Baumspitze festgemacht. Am Morgen ist die Karotte weg.



### Welche der Giraffen hat die Karotte gefressen?

Kreuze die richtige Antwort an:

- die kleine Giraffe
- die grosse Giraffe
- Es können beide Giraffen gewesen sein.

## 1. Welches Flugzeug verbraucht am wenigsten Treibstoff?

Herr Müller baut Flugzeuge und möchte, dass sie möglichst wenig Treibstoff verbrauchen. Er hat verschiedene Ideen, wovon der Treibstoffverbrauch abhängen könnte:

Er überlegt sich, dass ein Flugzeug eine spitze oder eine runde Nase haben kann.		
Er überlegt sich, dass die Höhenruder unten oder oben angebracht werden können.		
Er überlegt sich, dass ein Flugzeug doppelte oder einfache Flügel haben kann.		

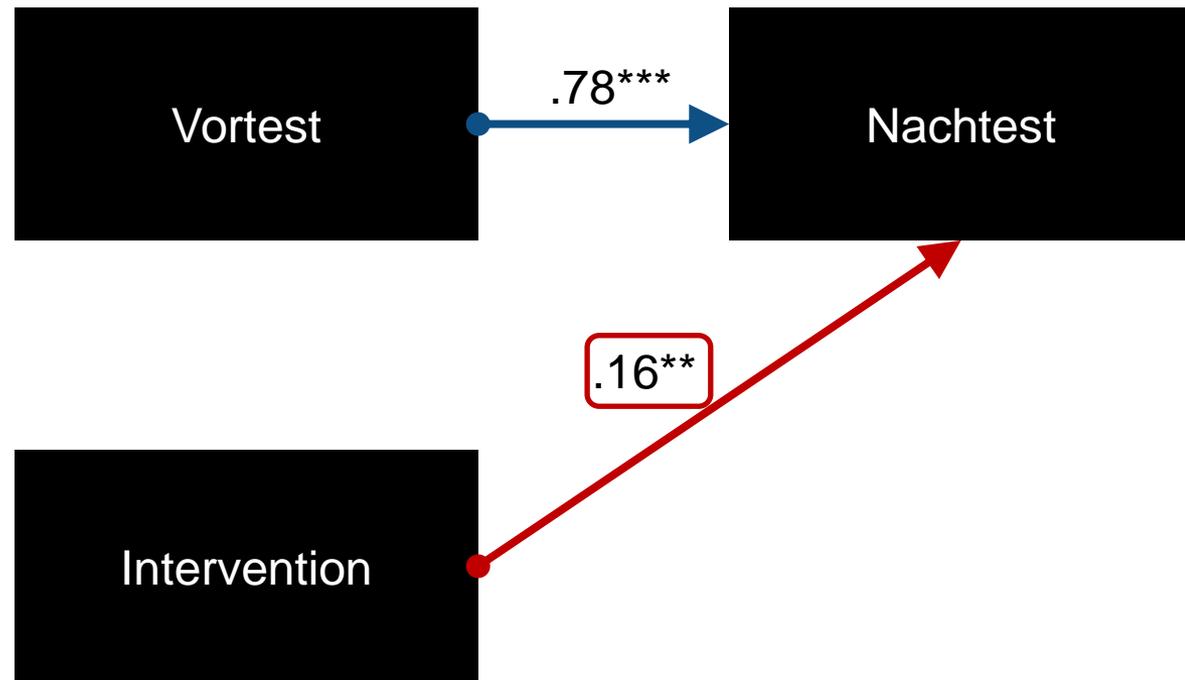
Herr Müller vermutet, dass ein Flugzeug mit einer spitzen Nase weniger Treibstoff verbraucht als ein Flugzeug mit einer runden Nase.

### Was soll Herr Müller tun, um herauszufinden, ob die Form der Flugzeugnase für den Treibstoffverbrauch wichtig ist?

Kreuze die richtige Antwort an:

- Herr Müller muss ein paar Flugzeuge bauen und vergleichen, wie viel Treibstoff sie verbrauchen.
- Herr Müller muss zwei Flugzeuge bauen, eines mit runder Nase und eines mit spitzer Nase. Sie müssen aber sonst ganz gleich sein. Dann muss er vergleichen, wie viel Treibstoff sie verbrauchen.
- Herr Müller muss zwei ganz unterschiedliche Flugzeuge bauen, bei denen er die Nase, die Flügel und die Höhenruder unterschiedlich macht. Dann muss er vergleichen, wie viel Treibstoff sie verbrauchen.

# Lerntransfer auf Experimentierverständnis konnte nachgewiesen werden.





## 2) Wer profitiert von kognitiv aktivierendem Unterricht in Mec

Dissertation Sarah Hofer

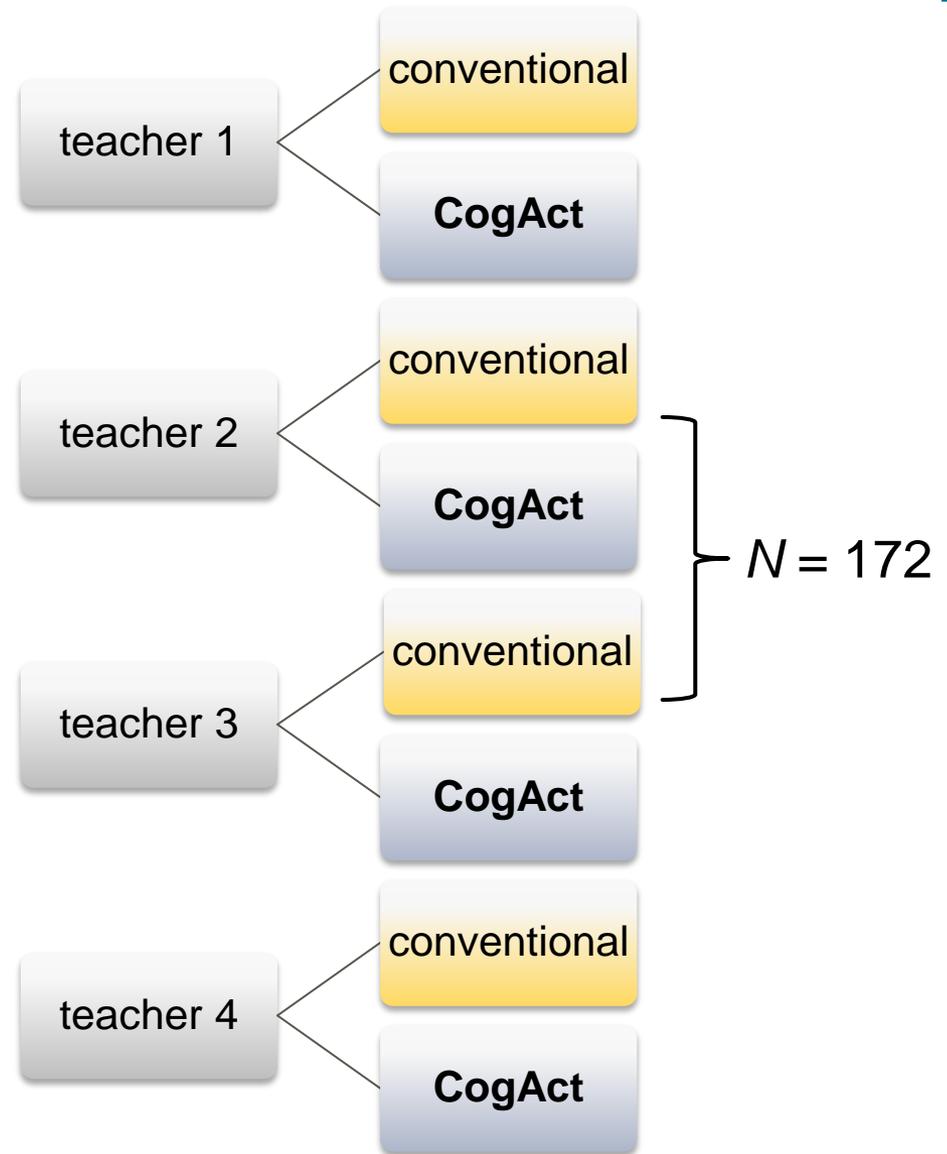


# Newton

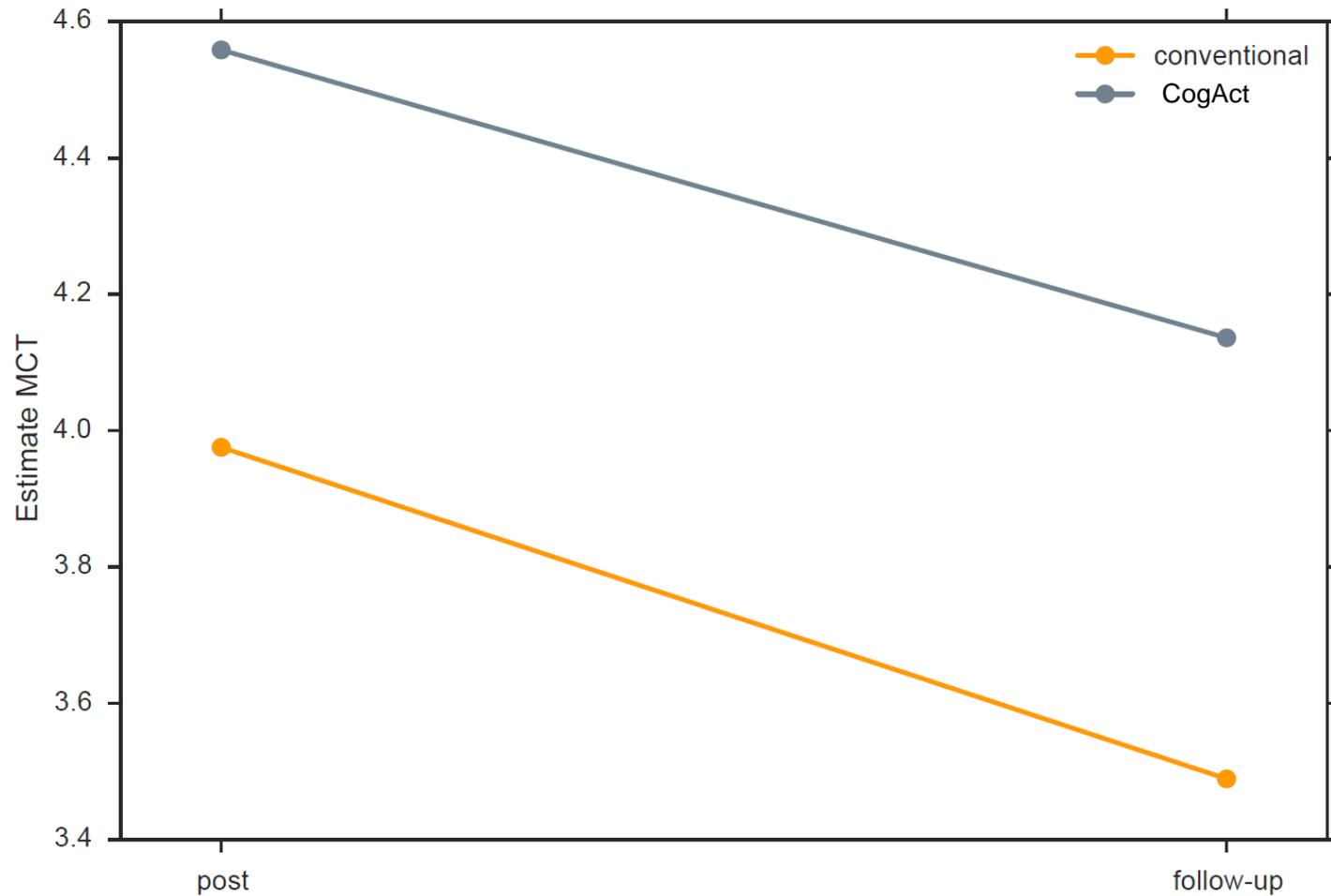
Nachdem ein Körper angestossen wurde, gleitet er auf einer glatten Oberfläche reibungs- und luftwiderstandsfrei dahin. Welche Aussagen treffen zu?

- Der Schwung durch das Anstossen verbraucht sich mit der Zeit. Deshalb wird der Körper immer langsamer, bis er schliesslich zum Stillstand kommt.
- Da er sich bewegt, muss auf den Körper eine Kraft in Bewegungsrichtung wirken.
- Die Masse des Körpers wirkt der Bewegung entgegen. Je schwerer der Körper ist, desto schneller wird er zur Ruhe kommen.
- Der Körper gleitet mit konstanter Geschwindigkeit über die Oberfläche.
- Der Körper ändert seine Bewegung nicht, weil keine horizontale Kraft auf ihn wirkt.

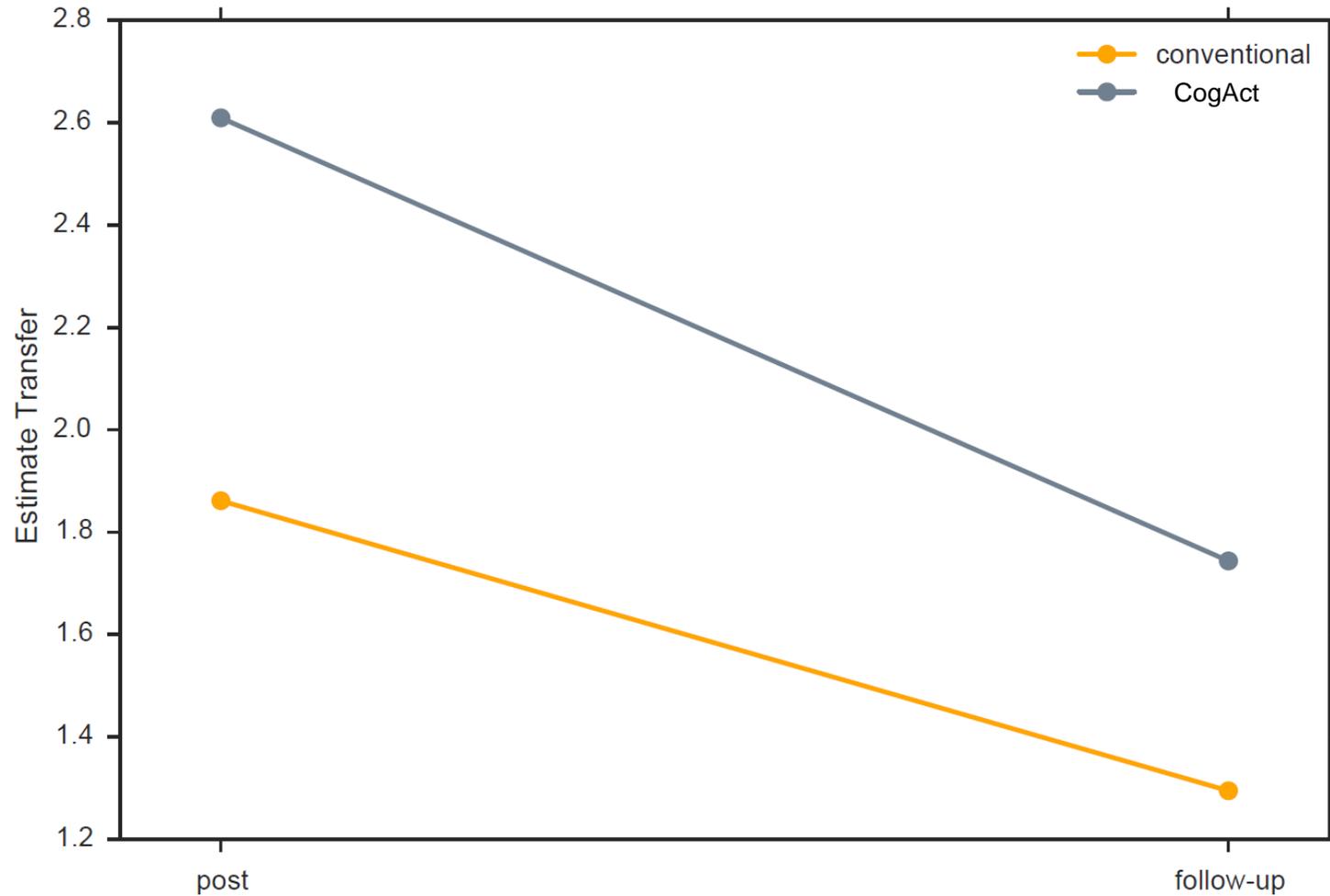
- total  $N = 207$   
(54% girls)
- Swiss Gymnasium  
students  
(mean age = 16 years)
- 14 classes
- 8 intervention classes,  
6 control classes



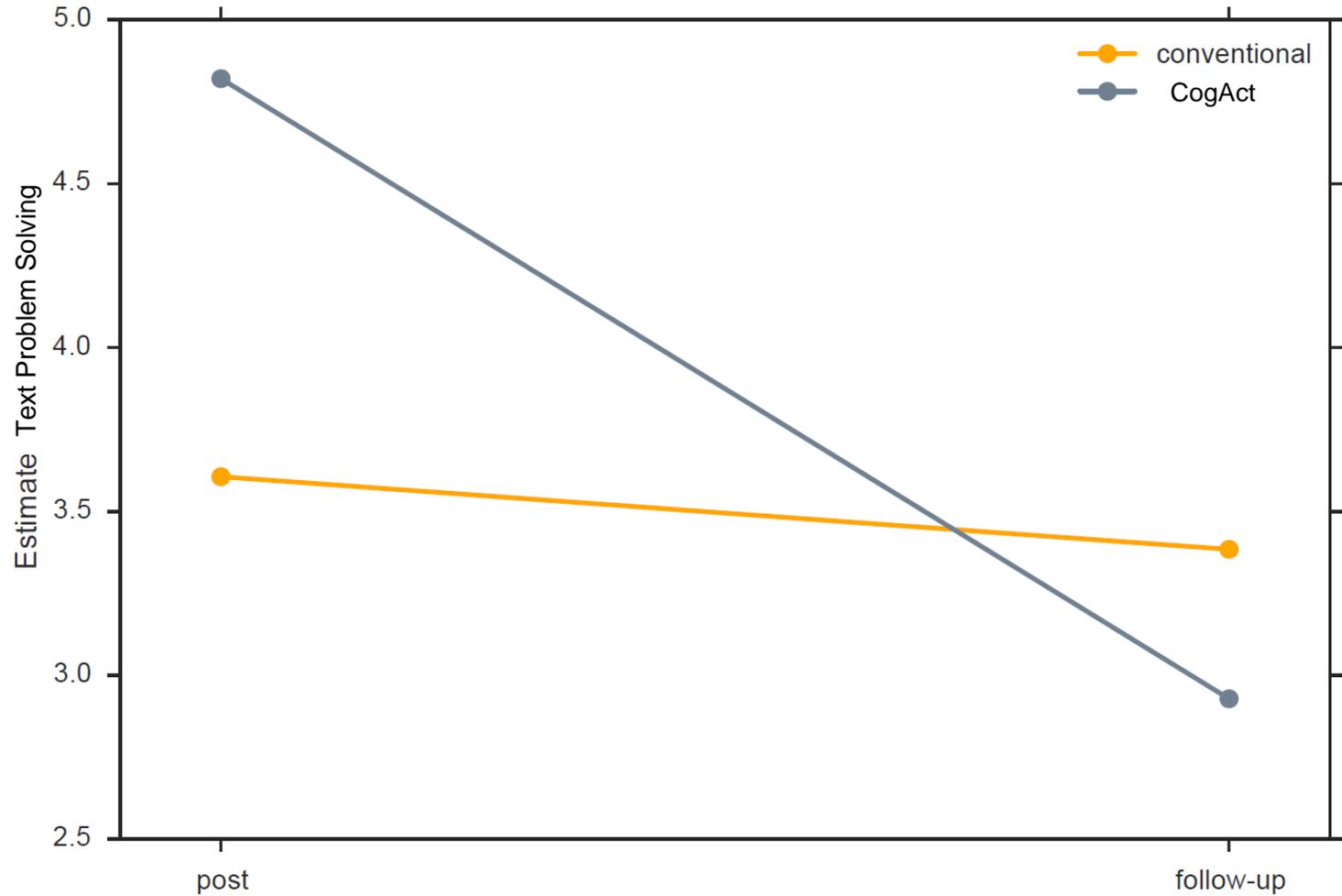
# Verständnistest Mechanik

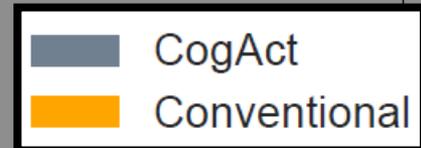
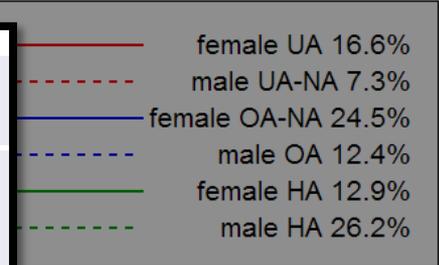
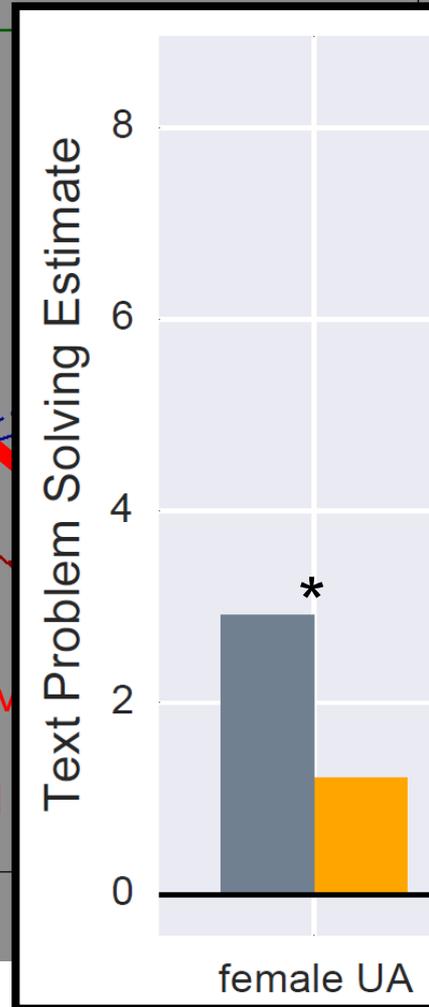
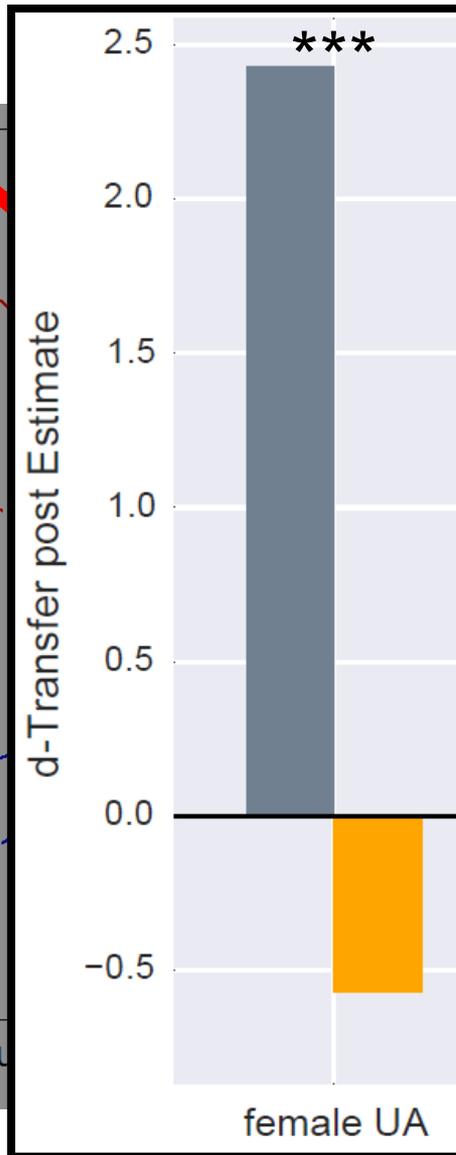
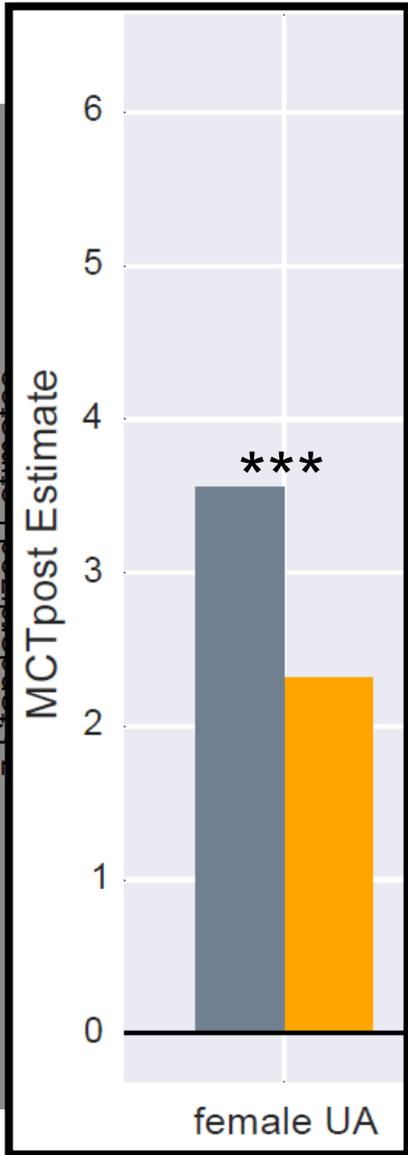


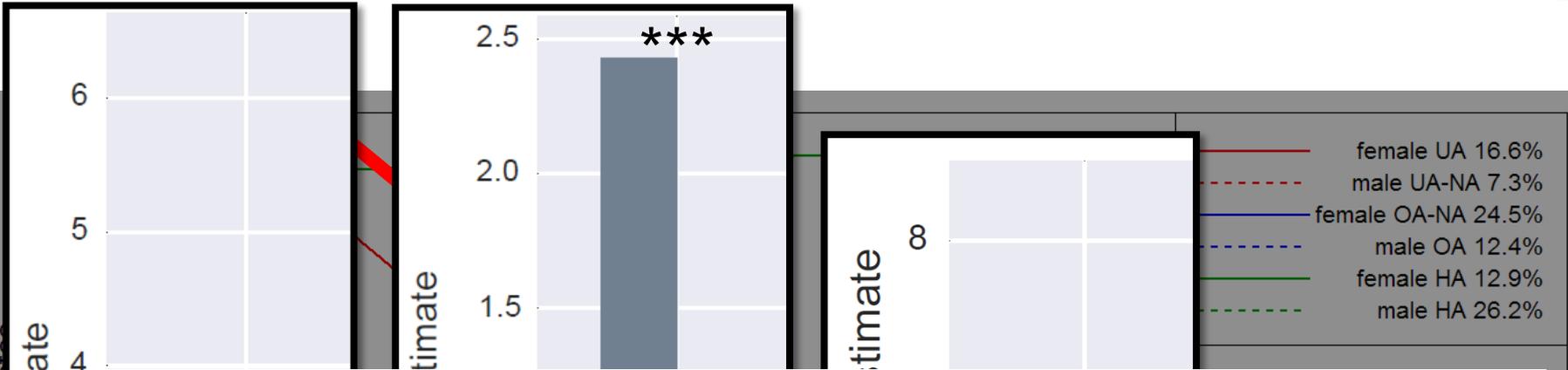
# Transfer auf neue Aufgaben



# Rechenaufgaben post und follow-up







Sehr intelligente SchülerINNEN profitieren besonders deutlich



# Newton

Nachdem ein Körper angestossen wurde, gleitet er auf einer glatten Oberfläche reibungs- und luftwiderstandsfrei dahin. Welche Aussagen treffen zu?

- Der Schwung durch das Anstossen verbraucht sich mit der Zeit. Deshalb wird der Körper immer langsamer, bis er schliesslich zum Stillstand kommt.
- Da er sich bewegt, muss auf den Körper eine Kraft in Bewegungsrichtung wirken.
- Die Masse des Körpers wirkt der Bewegung entgegen. Je schwerer der Körper ist, desto schneller wird er zur Ruhe kommen.
- Der Körper gleitet mit konstanter Geschwindigkeit über die Oberfläche.
- Der Körper ändert seine Bewegung nicht, weil keine horizontale Kraft auf ihn wirkt.

- 18 Lektionen **kognitiv aktivierender** Physikunterricht zu Newtonscher Mechanik

- 18 Lektionen **konventioneller** Physikunterricht zu Newtonscher Mechanik

## Lösungsrate

- vor dem Unterricht:  
~14%
- nach dem Unterricht:  
**57%**
- 3 Monate später: **49%**

- vor dem Unterricht:  
~14%
- nach dem Unterricht:  
**42%**
- 3 Monate später: **27%**

## Weitere Studie: Algebra leichter gemacht

- Algebra ist eine formale Sprache mit einem eigenen Regelsystem
- Verwechslung von ähnlichen Regeln häufige Fehlerquelle
- Forschungsidee:
- Können Vergleiche in Form von Kontrastierungen in Schulsettings sinnvoll eingesetzt werden?
- Wenn ähnliche und oft verwechselte Konzepte gelernt werden müssen?

### 3) Verwechslungen vorbeugen durch Anregung von systematischen Vergleichen

Ziegler, E. & Stern, E. (2014). Delayed benefits of learning elementary algebraic transformations through contrasted comparisons. *Learning and Instruction*, 33, 131-146.



# Algebra lernen

- Algebra ist eine formale Sprache mit einem eigenen Regelsystem
- Verwechslung von ähnlichen Regeln häufige Fehlerquelle
- Forschungsidee:
- Können Vergleiche in Form von Kontrastierungen in Schulsettings sinnvoll eingesetzt werden?
- Wenn ähnliche und oft verwechselte Konzepte gelernt werden müssen?
- Kognitive Aktivierung durch Anregung zum Vergleichen

# Hypothese

**Vergleichen** von Additions- und Multiplikationsaufgaben führt zu **besserer Leistung in der Algebra** verglichen mit dem sequentiellen Bearbeiten.

## Vergleichsbedingung

Addition	Multiplikation	L3.a
$xy + xy + xy = 3 \cdot xy$ $= 3xy$	$xy \cdot xy \cdot xy = x \cdot y \cdot x \cdot y \cdot x \cdot y$ $= x \cdot x \cdot x \cdot y \cdot y \cdot y$ $= x^3 \cdot y^3 = x^3 y^3$	
$2b + 2b + 2b + 2b + 2b = 5 \cdot 2b$ $= 10b$	$2b \cdot 2b \cdot 2b \cdot 2b \cdot 2b = 2 \cdot b \cdot 2 \cdot b \cdot 2 \cdot b \cdot 2 \cdot b \cdot 2 \cdot b$ $= 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot b \cdot b \cdot b \cdot b \cdot b$ $= 32 \cdot b^5 = 32b^5$	
$3cx + 3cx = 2 \cdot 3cx$ $= 6cx$	$3cx \cdot 3cx = 3 \cdot c \cdot x \cdot 3 \cdot c \cdot x$ $= 3 \cdot 3 \cdot c \cdot c \cdot x \cdot x$ $= 9 \cdot c^2 \cdot x^2 = 9c^2 x^2$	
<b>Vergleiche die Aufgaben</b> Beschreibe, was	<b>Addition – Multiplikation</b> Was fällt dir auf?	

## Sequenzierbedingung

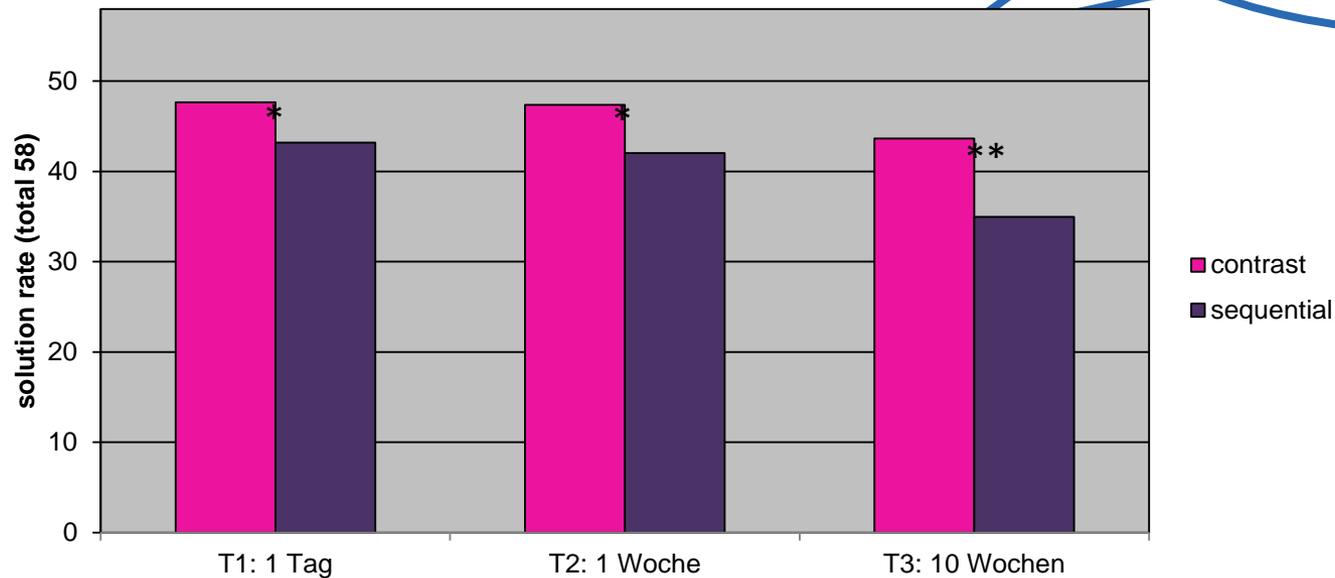
Addition	Lc2.a
$xy + xy + xy = 3 \cdot xy = 3xy$	
$2b + 2b + 2b + 2b + 2b = 5 \cdot 2b = 10b$	
$2cx + 3cx = 2 \cdot 3cx = 6cx$	
$c^2 + c^2 + c^2 + c^2 = 4 \cdot c^2 = 4c^2$	
$a^4 + a^4 = 2 \cdot a^4 = 2a^4$	
$x^3 + x^3 + x^3 = 3 \cdot x^3 = 3x^3$	
Schau dir die Aufgaben der beiden Bedingungen was bei der Addition passiert.	<b>Addition - Addition</b> Beschreibe, was genau in Worten,

- Gleich sind:
  - Alle Lernschritte
  - Anzahl der Aufgaben
  - Alle Tests
- Verschieden sind:
  - Reihenfolge der Lernschritte
  - Art der Fragen: „vergleichen“ versus „erklären“
  - 10% der Probeaufgaben
  - Sequential Bedingung: am Ende zusätzliches Training von 20 gemischten Aufgaben

# Resultate I: Kurz- und mittelfristige Leistung

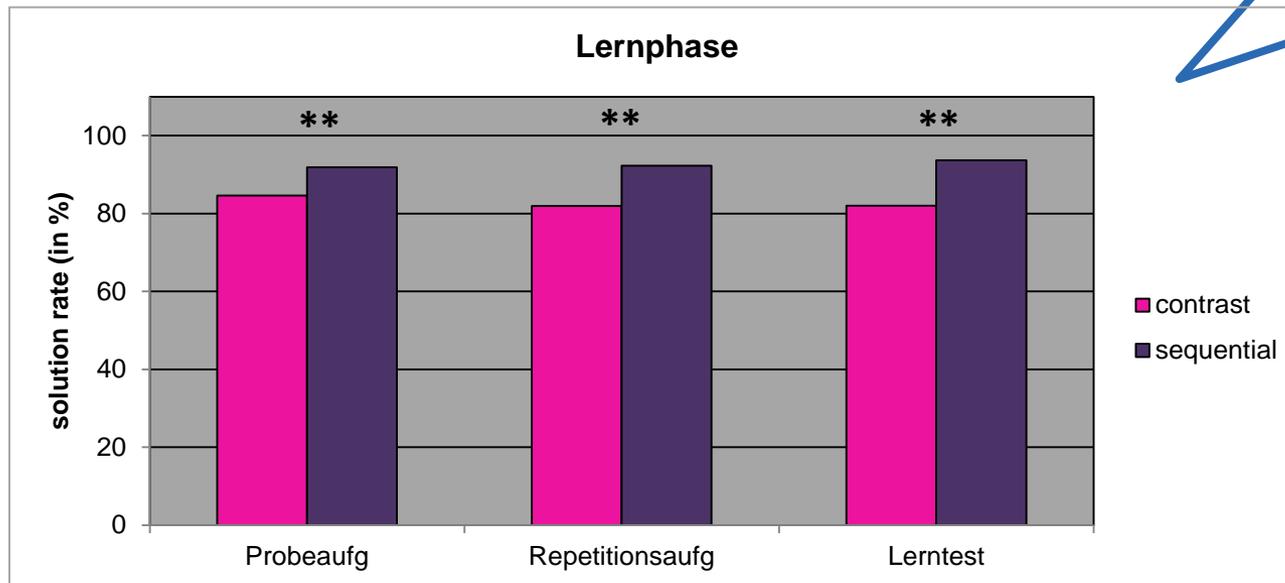
## im Algebratest

Hypothesen bestätigt!  
Kontrastgruppe  
schneidet besser ab.



## Resultate II: Lernphase

**Aber!!!**  
Kontrastgruppe schnitt in  
der Lernphase schlechter ab



# Fehlerkultur: Kognitive Aktivierung durch wünschenswerte Erschwernisse



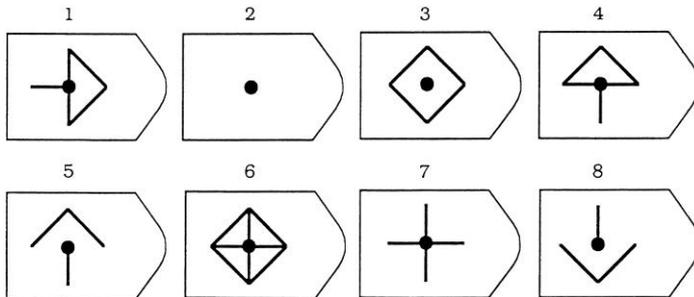
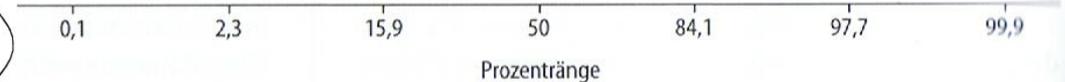
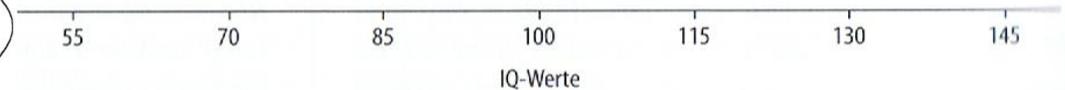
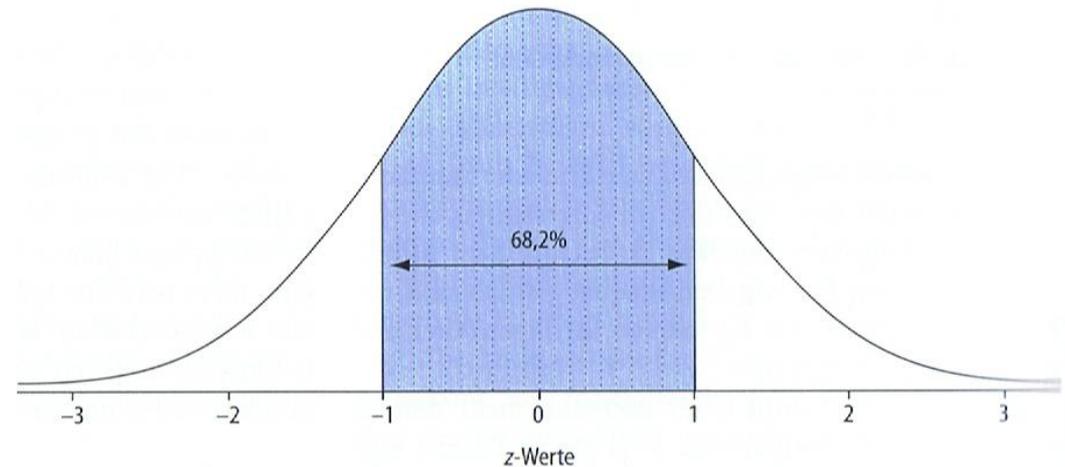
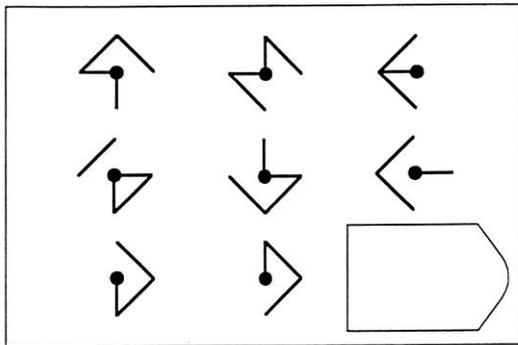
## Folgerungen für Lernsettings: Vergleiche

- Vergleiche sind ein wirkungsvolles Lernprinzip
- Ähnliche Konzepte können von Anfang an gleichzeitig gelernt werden, indem man sie kontrastiert.
- Vergleiche verlangsamen das Lerntempo, aber helfen das Wissen zu vertiefen.
- Fehler machen hilft beim Wissensaufbau: **„Gewisse Fehler müssen gemacht werden?!“**

# Und die Begabungsunterschiede???

# Intelligenztests und IQ

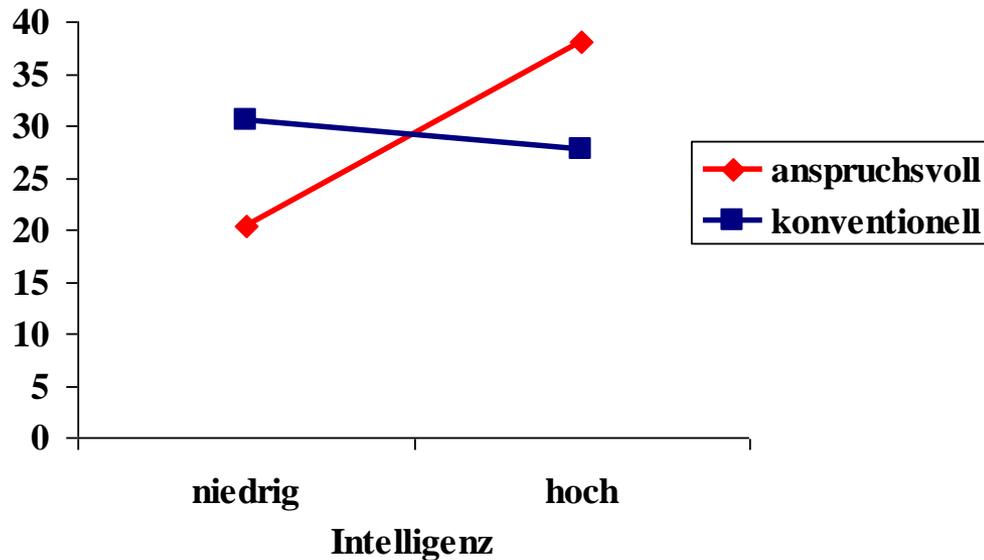
- **Zahlenreihen:** 57 60 30 34 17 22 11 ?
- **Analogien:** Gramm : Gewicht = Stunde : ?



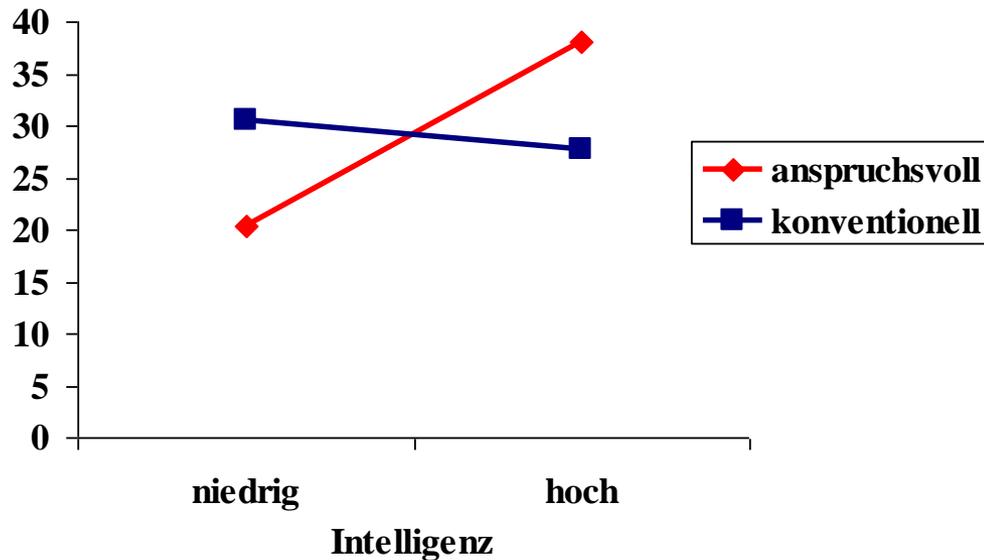
# Relevante Botschaften der Intelligenzforschung für die Schule

- Je höher der IQ, um so wahrscheinlicher sind akademischer Lernerfolg sowie Berufs- und Lebenserfolg
- Unterschiede in motivationalen Merkmalen sind weniger bedeutsam
- Es gibt Pseudo-Unterscheidungen, die jeder wissenschaftlichen Grundlage entbehren (z.B. Lerntypen)
- IQ- Unterschiede zeigen sich in Geschwindigkeit des Lernens, aber nicht in den Lernwegen
- Auch sehr intelligente SuS zeigen Fehlkonzepte

# Profitieren nur SuS mit günstigen Ausgangsvoraussetzungen von anspruchsvollem Unterricht?

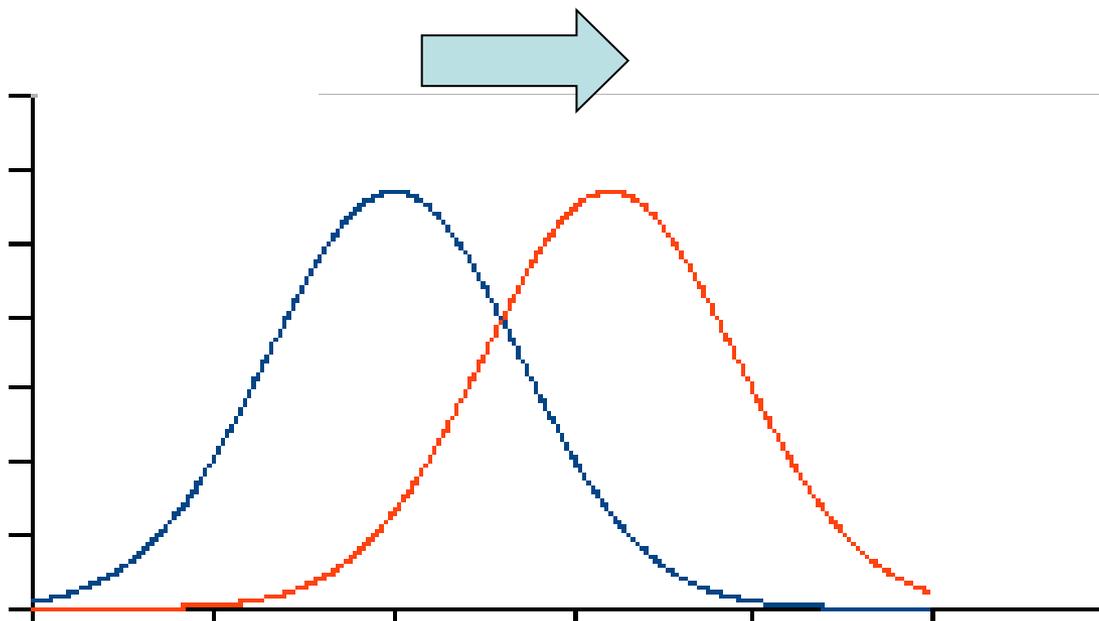


# Profitieren nur SuS mit günstigen Ausgangsvoraussetzungen von anspruchsvollem Unterricht?



**Keine Hinweise auf disordinale Aptitude-Treatment-Interaktionen**

# Was heisst Bildungsgerechtigkeit?



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

<http://www.educ.ethz.ch/mint>

