

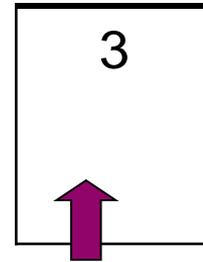
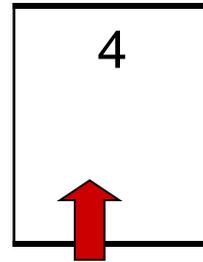
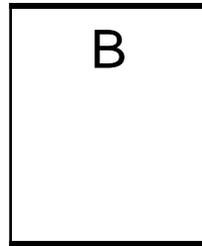
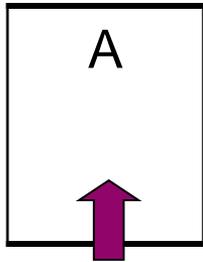


# Unterricht lernwirksam gestalten

Der Aufbau intelligenten Wissens mit kognitiv aktivierenden Lernformen

Ralph Schumacher, MINT-Lernzentrum der ETH Zürich

Welche Karten muss man umdrehen, um folgende Regel zu überprüfen:  
Wenn auf einer Seite der Karte ein Vokal steht, muss auf der anderen Seite eine gerade Zahl stehen.

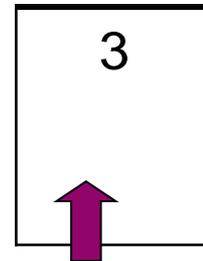
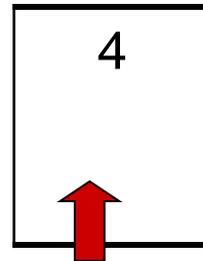
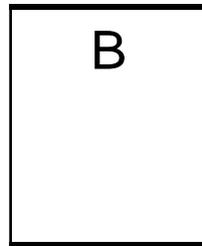
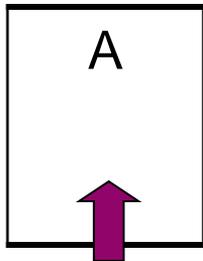


10% korrekt  
90% falsch

## Wason-Selection-Task:

Kein Transfer zwischen Situationen mit formal isomorpher Struktur

Welche Karten muss man umdrehen, um folgende Regel zu überprüfen:  
Wenn auf einer Seite der Karte ein Vokal steht, muss auf der anderen Seite eine gerade Zahl stehen.



10% korrekt  
90% falsch

Wessen Getränk bzw. wessen Alter muss die Polizei überprüfen, um die Einhaltung des Jugendschutzgesetzes in der Disko zu gewährleisten:  
Wenn man Bier bestellt, muss man mindestens 16 Jahre alt sein.



D GESS

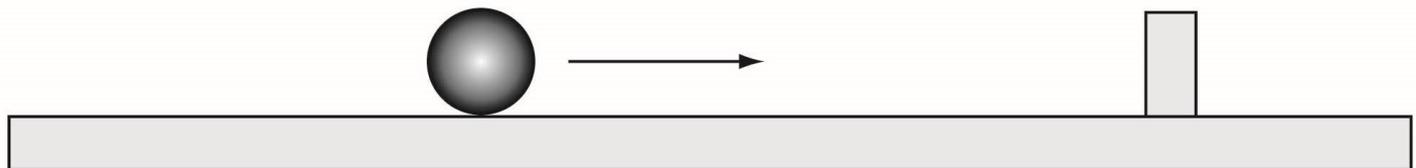
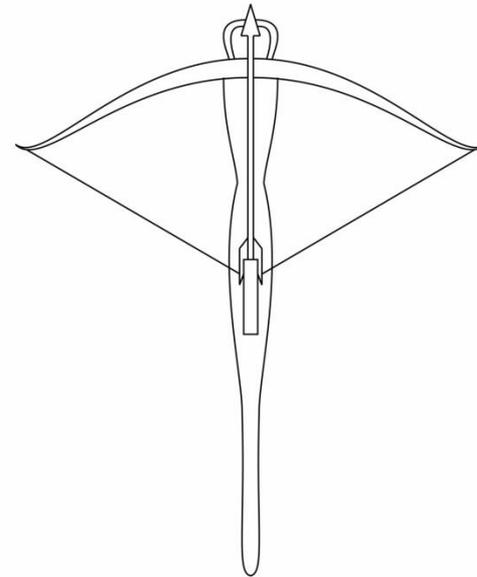
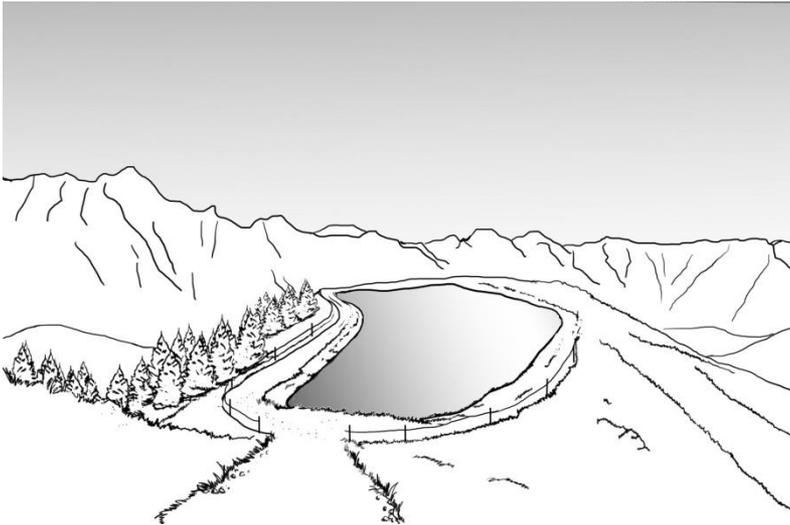


100% korrekt

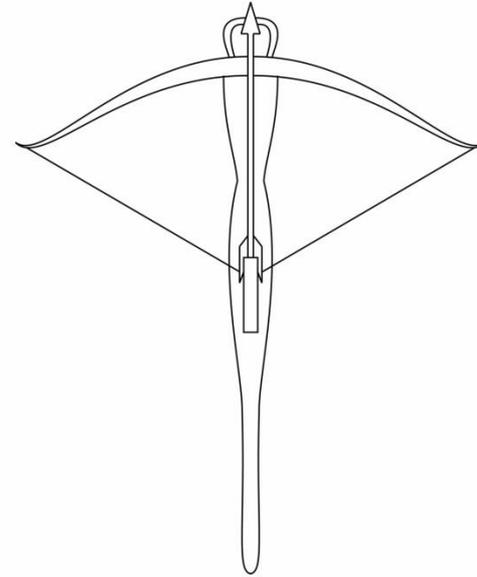
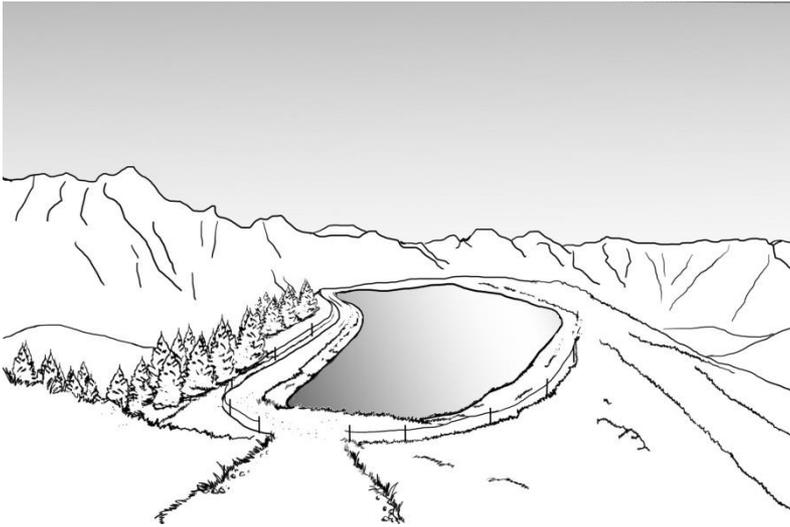
## Wissenstransfer

- Wissenstransfer: Die Übertragung von Gelerntem auf neue Situationen.
- Voraussetzung für Transfer: Erkennen gemeinsamer Elemente in Lern- und Anwendungssituation
- Die menschliche Kognition ist wesentlich bereichsspezifisch.
- Ein spontaner Wissenstransfer zwischen verschiedenen Inhaltsbereichen findet nicht statt.

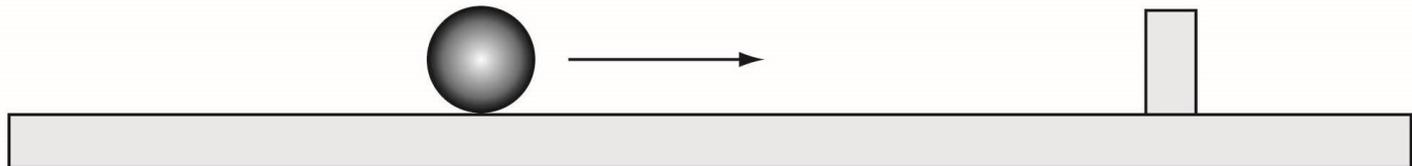
Intelligentes Wissen ist nach abstrakten Kriterien geordnet, die den Wissenstransfer erleichtern.



Intelligentes Wissen ist nach abstrakten Kriterien geordnet, die den Wissenstransfer erleichtern.



In allen drei Fällen wird mechanische Energie gespeichert.



$$||x = \pi$$

$$x = \frac{\cancel{\pi}}{\cancel{\pi}}$$

$$x = \sim$$





- Hans baute ein Boot.
- Urs liess einen Drachen steigen.
- Lutz ass einen Apfel.
- Beat ging über das Dach.
- Jochen versteckte ein Ei.
- Dominik setzte das Segel.
- Peter schrieb ein Drama.
- Viktor drückte den Schalter.

- Wer ass einen Apfel?
- Wer versteckte ein Ei?
- Wer liess einen Drachen steigen?
- Wer ging über das Dach?
- Wer drückte den Schalter?
- Wer setzte das Segel?
- Wer baute ein Boot?
- Wer schrieb das Drama?

- Noah baute ein Boot.
- Benjamin Franklin liess einen Drachen steigen.
- Adam ass einen Apfel.
- Der Weihnachtsmann ging über das Dach.
- Der Osterhase versteckte ein Ei.
- Christoph Kolumbus setzte das Segel.
- William Shakespeare schrieb ein Drama.
- Thomas Edison drückte den Schalter.

- Wer ass einen Apfel?
- Wer versteckte ein Ei?
- Wer liess einen Drachen steigen?
- Wer ging über das Dach?
- Wer drückte den Schalter?
- Wer setzte das Segel?
- Wer baute ein Boot?
- Wer schrieb das Drama?

## Wie lässt sich der Erwerb intelligenten Wissens fördern?

- (1) Die Vorstellungen der Lernenden kennen und nutzen
- (2) Kognitiv aktivierende Phänomene als Einstieg verwenden
- (3) Erfinden mit kontrastierenden Fällen
- (4) Arbeit am Begriffswissen mit Texten und Grafiken
- (5) Nutzung geistiger Repräsentationswerkzeuge
- (6) Aufträge für Selbsterklärungen geben
- (7) Holistische Konfrontation von Modellen
- (8) Metakognitive Fragen stellen

## Wie lässt sich der Erwerb intelligenten Wissens fördern?

- (1) Die Vorstellungen der Lernenden kennen und nutzen
- (2) Kognitiv aktivierende Phänomene als Einstieg verwenden
- (3) Erfinden mit kontrastierenden Fällen
- (4) Arbeit am Begriffswissen mit Texten und Grafiken
- (5) Nutzung geistiger Repräsentationswerkzeuge
- (6) Aufträge für Selbsterklärungen geben
- (7) Holistische Konfrontation von Modellen
- (8) Metakognitive Fragen stellen

## Expertise im Schachspiel

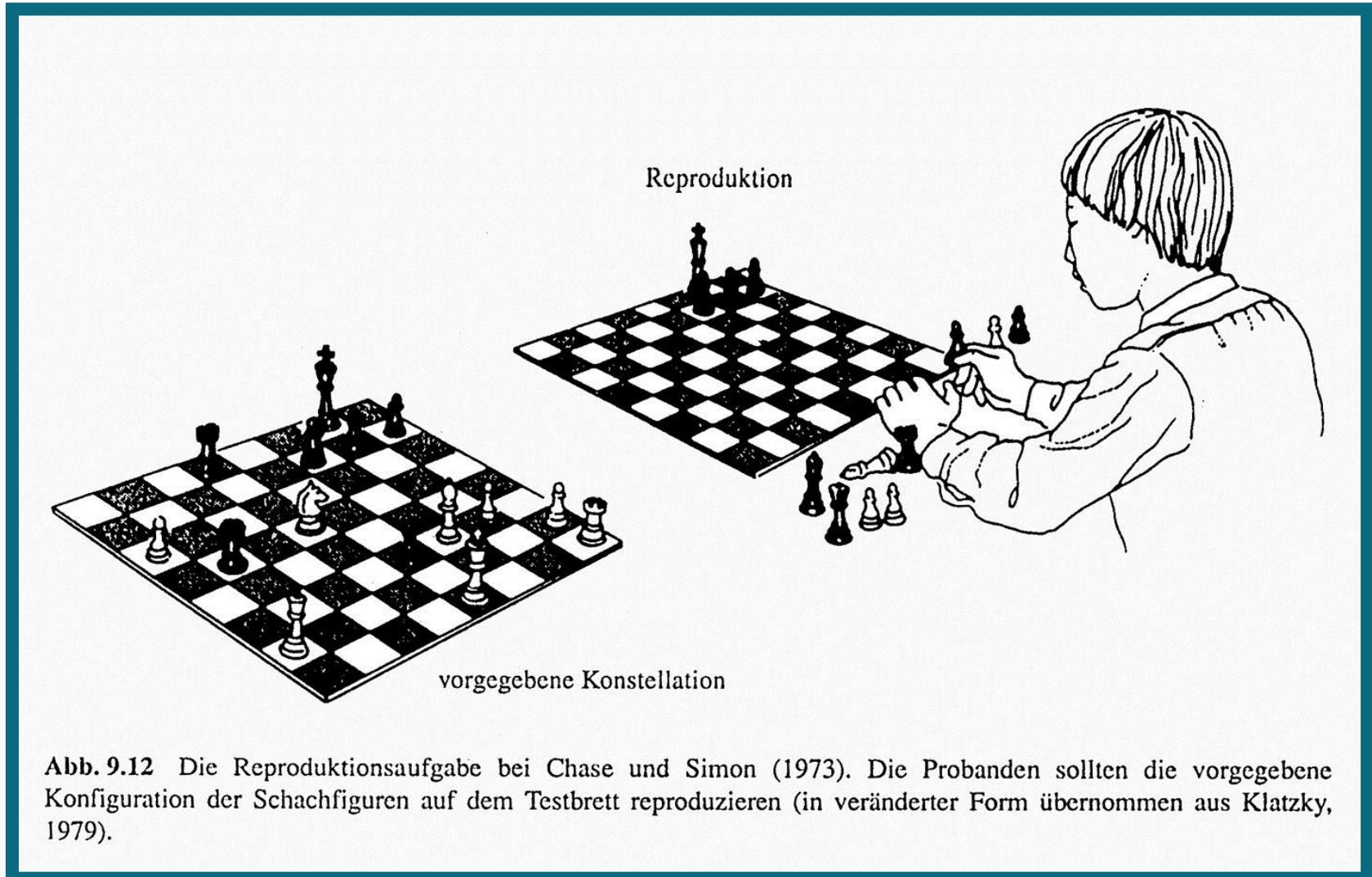


Abb. 9.12 Die Reproduktionsaufgabe bei Chase und Simon (1973). Die Probanden sollten die vorgegebene Konfiguration der Schachfiguren auf dem Testbrett reproduzieren (in veränderter Form übernommen aus Klatzky, 1979).

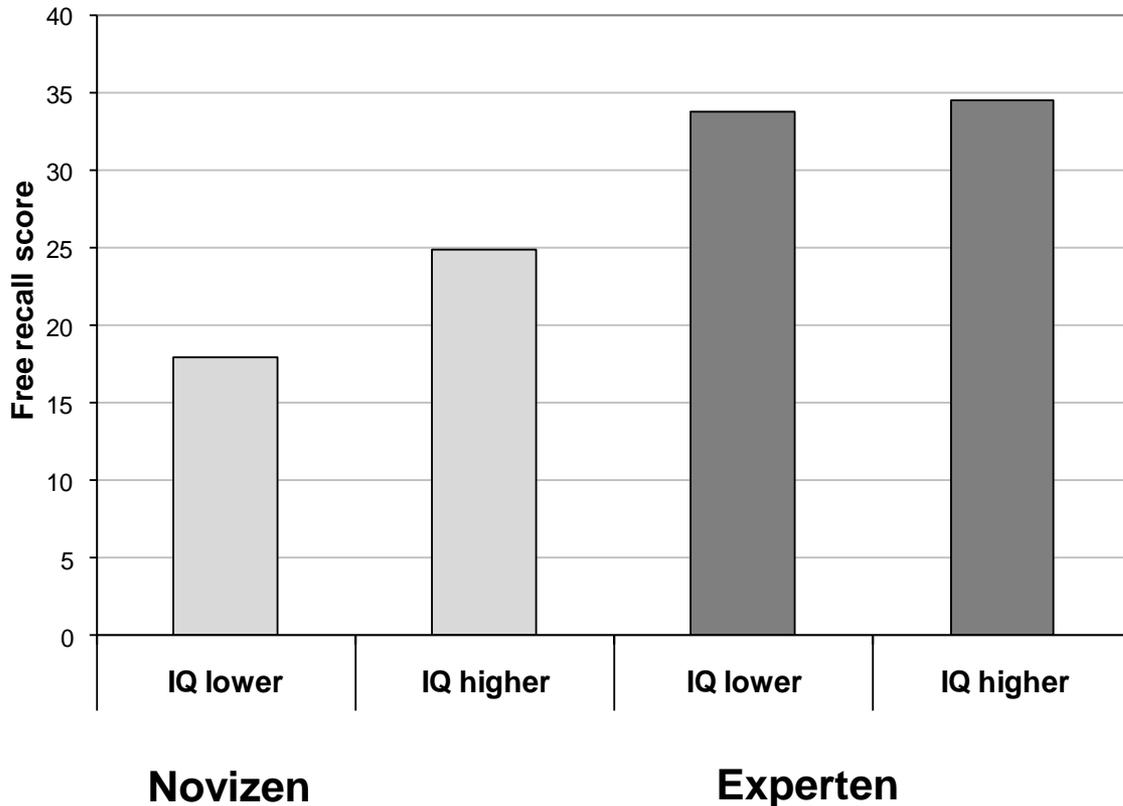
## Wissen als Prädiktor von Leistungsunterschieden

Schneider, W., Körkel, J., & Weinert, F. E. (1989). Domain-Specific Knowledge and Memory Performance: A Comparison of High- and Low-Aptitude Children. *Journal of Educational Psychology*, 81, 306 – 312.

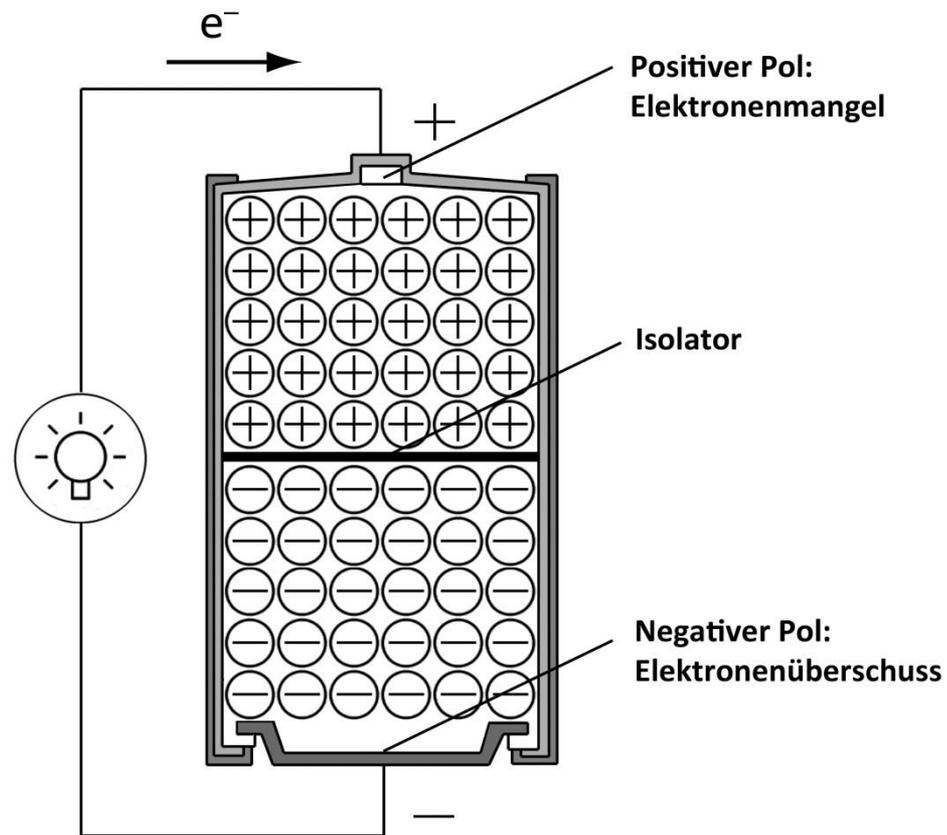
- 800 Versuchspersonen
- Aufgabe: aus einem Text über Fußball möglichst viele Informationen im Gedächtnis zu behalten

# Begabung vs. Wissen

## Wissenspsychologie und Expertiseforschung:



## Häufigstes Fehlkonzept: „Kondensatormodell“



Die folgenden vier Abbildungen zeigen jeweils eine Kugel, die sich auf verschiedenen geneigten bzw. gekrümmten Bahnen reibungsfrei bewegt. Auf welchen dieser Abbildungen ändern sich im Laufe der dargestellten Bewegung die Kräfte, die auf die Kugel wirken?

geradeaus



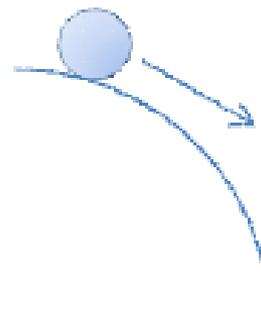
bergab



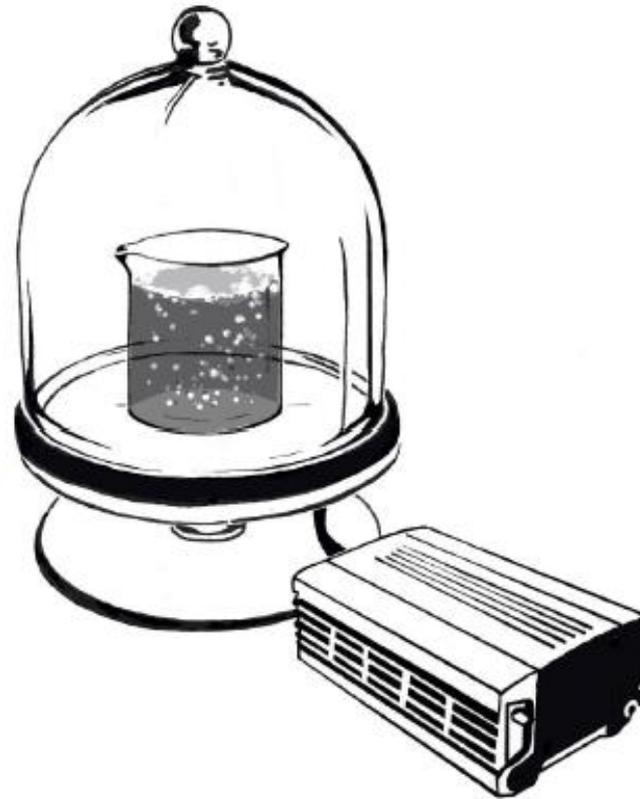
bergauf



bergab



20. Wenn man ein offenes Gefäß mit Wasser in eine Vakuumbglocke stellt und die Luft aus der Glocke herauspumpt, fängt das Wasser ab einem bestimmten Zeitpunkt an zu sieden.

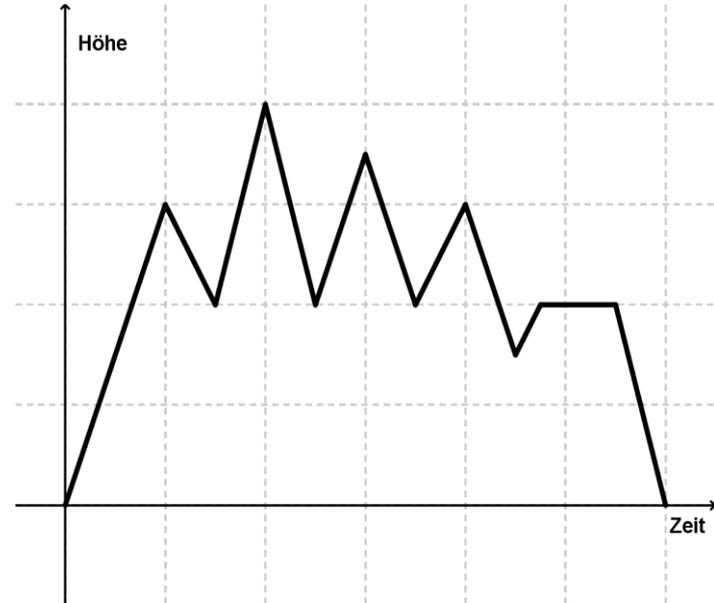
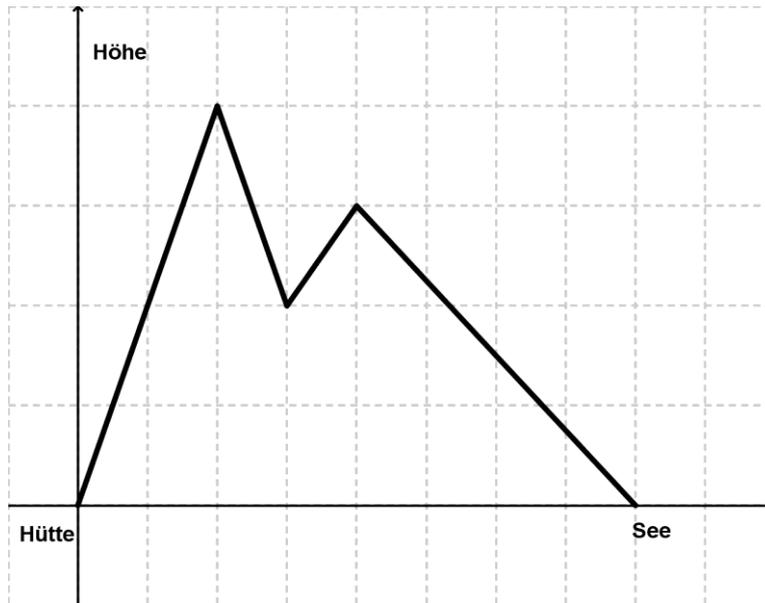


Welche der folgenden Aussagen sind richtig?

- Durch das Sieden wird das Wasser immer heißer, erreicht aber nicht die Temperatur von 100 °C.
- Durch das Sieden wird das Wasser kälter.
- Durch das Sieden wird das Wasser immer heißer, bis es die Temperatur von 100 °C erreicht hat; danach steigt die Temperatur nicht weiter an.
- Die Temperatur des Wassers bleibt die ganze Zeit konstant.

## Vorwissen – Beispiel Graphen verstehen

Ein zerstreuter Wanderer überquerte die links abgebildete Gebirgskette von der Hütte zum See. Dabei verlor er ab und zu etwas, so dass er umkehren musste, um es einzusammeln. Sein mitgeführter Höhenmesser zeichnete sein Auf und Ab in Abhängigkeit von der Zeit auf (rechts). Wie oft ist er auf dem Weg von der Hütte zum See umgekehrt?



# **Exemplarische Ergebnisse der Auswertung des Vortests zur Unterrichtseinheit „Orbitalmodell“**

**74 Schülerinnen und Schüler**

**Mittleres Alter: 14.8 Jahre**

# Wissen über Wellen, Interferenz und Beugung

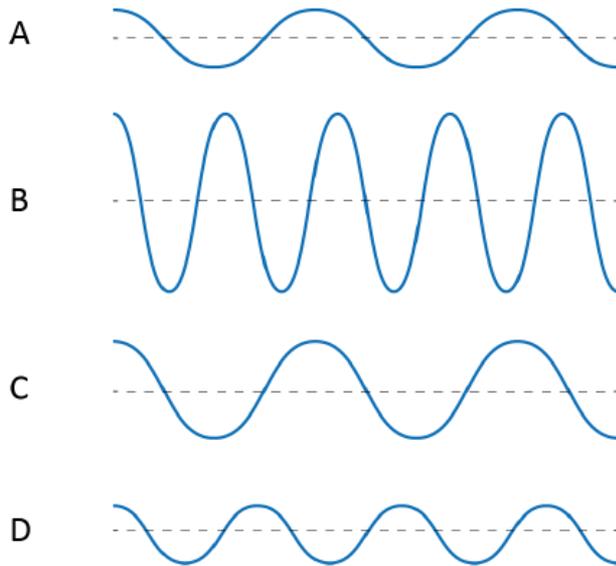
1. Welche der folgenden Begriffe werden verwendet, um das Verhalten des Lichts zu beschreiben? Kreuzen Sie alle richtigen Aussagen an:

- Reflexion
- Suspension
- Sublimation
- Brechung
- Interferenz
- Schattenbildung
- Farbe
- Beugung
- Kondensation

I. Begriffe	%
A	99
B	1
C	1
D	96
E	1
F	97
G	49
H	11
I	0

# Wissen über Wellen, Interferenz und Beugung

7. Sie betrachten die vier Wellen in der unten aufgeführten Zeichnung. Welche Aussagen über die Amplitude und die Wellenlänge dieser Wellen sind richtig? Kreuzen Sie alle richtigen Aussagen an:

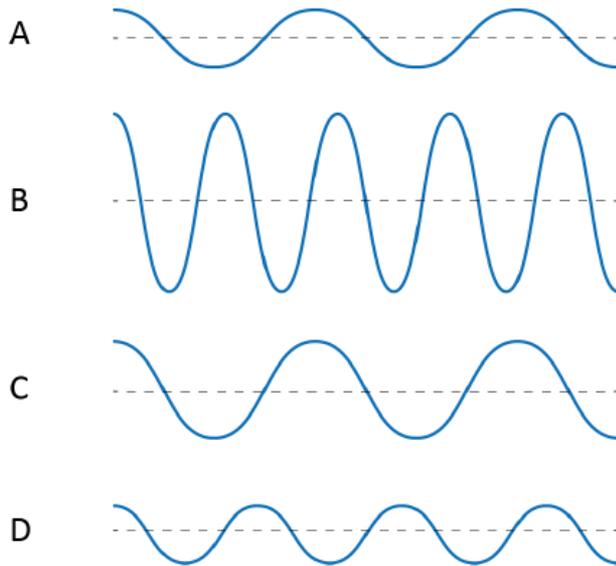


7. Wellen	%
A	36
B	28
C	92
D	38
E	22

- Die Wellen A und C weisen die gleichen Amplituden auf.
- Die Wellen A und D weisen die gleichen Amplituden auf.
- Die Wellen B und C weisen sowohl unterschiedliche Amplituden als auch unterschiedliche Wellenlängen auf.
- Die Wellen A und C weisen die gleichen Wellenlängen auf.
- Die Wellen A und D weisen die gleichen Wellenlängen auf.

# Wissen über Wellen, Interferenz und Beugung

7. Sie betrachten die vier Wellen in der unten aufgeführten Zeichnung. Welche Aussagen über die Amplitude und die Wellenlänge dieser Wellen sind richtig? Kreuzen Sie alle richtigen Aussagen an:



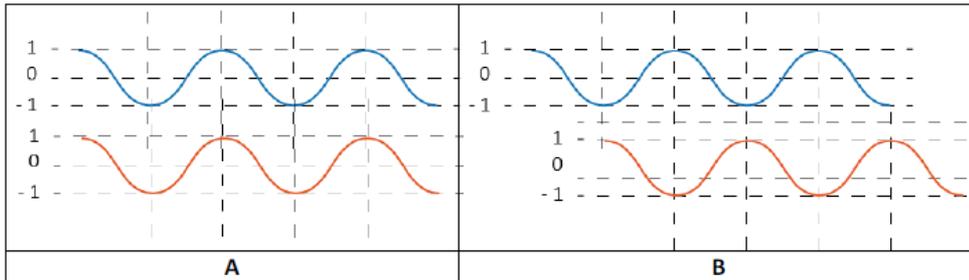
7. Wellen	%
A	36
B	28
C	92
D	38
E	22

- Die Wellen A und C weisen die gleichen Amplituden auf.
- Die Wellen A und D weisen die gleichen Amplituden auf.
- Die Wellen B und C weisen sowohl unterschiedliche Amplituden als auch unterschiedliche Wellenlängen auf.
- Die Wellen A und C weisen die gleichen Wellenlängen auf.
- Die Wellen A und D weisen die gleichen Wellenlängen auf.

29
47
85
68
10

# Wissen über Wellen, Interferenz und Beugung

8. Stellen Sie sich vor, zwei einfache Wellen pflanzen sich über dieselbe Strecke fort. Die beiden Bilder unten stellen zwei Möglichkeiten A und B dar, wie dies geschehen kann. Welche Aussagen über das Verhalten der beiden Wellen sind richtig? Kreuzen Sie alle richtigen Aussagen an:

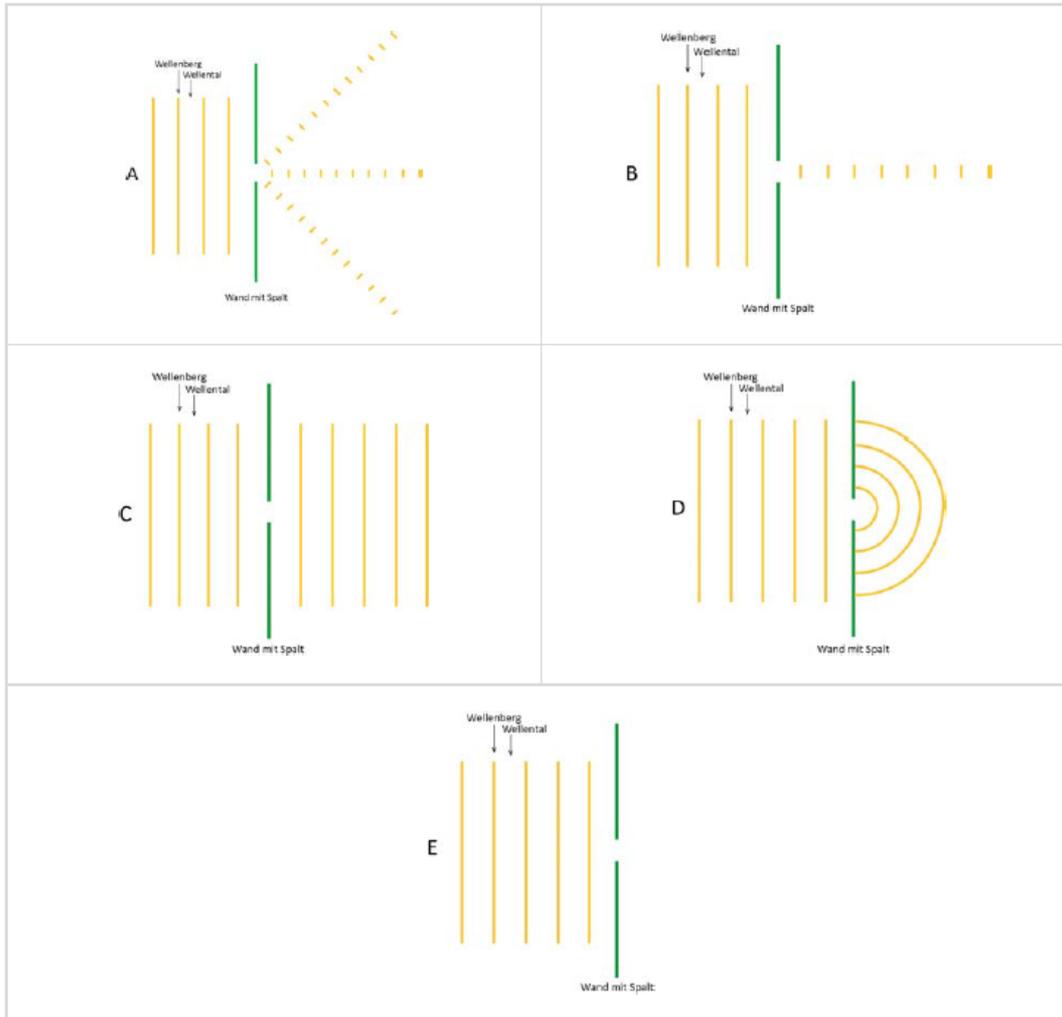


- Die beiden Wellen werden sich in beiden Fällen A und B gegenseitig verstärken.
- Die beiden Wellen werden sich im Fall A verstärken und im Fall B auslöschen.
- Die beiden Wellen werden sich in beiden Fällen A und B gegenseitig auslöschen.
- Die beiden Wellen werden sich in beiden Fällen A und B gegenseitig nicht beeinflussen.
- Die beiden Wellen werden sich im Fall A auslöschen und im Fall B verstärken.
- Die beiden Wellen werden sich im Fall A verstärken und im Fall B gegenseitig nicht beeinflussen.
- Wenn sich zwei Wellen über dieselbe Strecke fortpflanzen und die Wellenberge der beiden Wellen treffen aufeinander, dann werden sie sich gegenseitig verstärken.
- Wenn sich zwei Wellen über dieselbe Strecke fortpflanzen und die Wellentäler der beiden Wellen treffen aufeinander, dann werden sie sich gegenseitig verstärken.

8. Zwei Wellen	%
A	9
B	47
C	5
D	23
E	16
F	15
G	53
H	45

# Wissen über Wellen, Interferenz und Beugung

12. Eine Welle trifft auf eine Wand, in der sich ein Spalt befindet. Sie sollen nun entscheiden, welche der unten aufgeführten Zeichnungen die Welle nach dem Durchgang durch den Spalt korrekt beschreibt. Kreuzen Sie alle richtigen Darstellungen an:



12. Spalt	%
A	36
B	35
C	15
<b>D</b>	<b>57</b>
E	14

# Wissen über Wellen, Interferenz und Beugung

12. Eine Welle trifft auf eine Wand, in der sich ein Spalt befindet. Sie sollen nun entscheiden, welche der unten aufgeführten Zeichnungen die Welle nach dem Durchgang durch den Spalt korrekt beschreibt. Kreuzen Sie alle richtigen Darstellungen an:

The diagrams are labeled A through E. Each diagram shows a vertical wall with a slit. To the left of the wall, vertical lines represent an incoming plane wave. Labels 'Wellenberg' (wave crest) and 'Wellental' (wave trough) are present in each diagram. Below each diagram is the text 'Wand mit Spalt'.

12. Spalt	%
A	36
B	35
C	15
<b>D</b>	<b>57</b>
E	14

20
7
0
<b>97</b>
2

# Wissen über den Aufbau von Atomen

2. Welche Aussagen über den Aufbau der Atome sind richtig? Kreuzen Sie alle richtigen Aussagen an:
- Der Atomkern hat eine relativ grosse Masse und ist im Vergleich zu den Abmessungen des Atoms relativ gross.
  - Der Atomkern hat eine relativ grosse Masse und ist im Vergleich zu den Abmessungen des Atoms relativ klein.
  - Die Neutronen sind negativ geladen und werden somit von den positiv geladenen Protonen angezogen.
  - Die Atome sind winzige Kügelchen, die vollständig von Elektronen, Protonen und Neutronen ausgefüllt sind.
  - Der Raum im Atom, in dem sich Elektronen aufhalten, ist wesentlich grösser als der Atomkern.

2. Aufbau der Atome	%
A	24
<b>B</b>	<b>41</b>
C	58
D	32
<b>E</b>	<b>55</b>

# Wissen über den Aufbau von Atomen

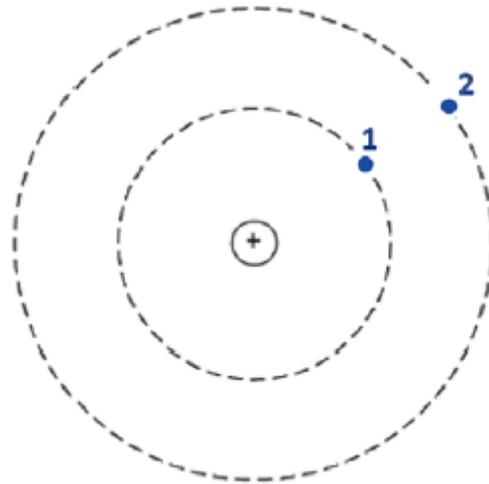
3. Warum muss man einem Atom Energie zuführen, wenn Elektronen aus dem Atom entfernt werden? Kreuzen Sie alle richtigen Aussagen an:

- Das positiv geladene Elektron wird vom negativ geladenen Atomkern angezogen.
- Das Elektron und der Atomkern stoßen sich gegenseitig ab.
- Das Elektron wird durch die Schwerkraft vom Atomkern angezogen.
- Das negativ geladene Elektron wird vom positiv geladenen Atomkern angezogen.

3. Atom entfernen 1	%
A	24
B	23
C	20
D	57

# Wissen über das Coulomb-Gesetz

4. Bei welchem der beiden unten abgebildeten Elektronen muss dem Atom mehr Energie zugeführt werden, um es aus dem Atom zu entfernen? Kreuzen Sie die richtige Aussage an:



- beim Elektron Nr. 1
- beim Elektron Nr. 2

4. 1. Atom entfernen 2	%
A	74
B	26

# Wissen über das Coulomb-Gesetz

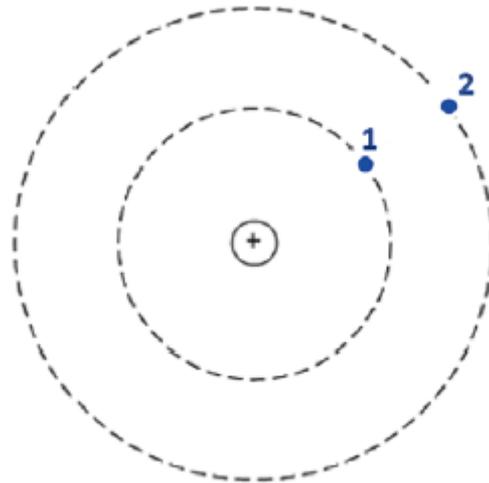
Warum ist das so? Kreuzen Sie alle richtigen Aussagen an:

- Die Anziehung zwischen dem Elektron und dem Atomkern wird mit steigendem Abstand stärker.
- Die Abstossung zwischen dem Elektron und dem Atomkern wird mit steigendem Abstand stärker.
- Die Anziehung zwischen dem Elektron und dem Atomkern wird mit steigendem Abstand schwächer.
- Die Abstossung zwischen dem Elektron und dem Atomkern wird mit steigendem Abstand schwächer.

4.2. Atom entfernen 3	%
A	19
B	39
<b>C</b>	<b>72</b>
D	23

# Wissen über das Coulomb-Gesetz

4. Bei welchem der beiden unten abgebildeten Elektronen muss dem Atom mehr Energie zugeführt werden, um es aus dem Atom zu entfernen? Kreuzen Sie die richtige Aussage an:



- beim Elektron Nr. 1
- beim Elektron Nr. 2

86
14

4. 1. Atom entfernen 2	%
A	74
B	26

# Wissen über das Coulomb-Gesetz

Warum ist das so? Kreuzen Sie alle richtigen Aussagen an:

- Die Anziehung zwischen dem Elektron und dem Atomkern wird mit steigendem Abstand stärker.
- Die Abstossung zwischen dem Elektron und dem Atomkern wird mit steigendem Abstand stärker.
- Die Anziehung zwischen dem Elektron und dem Atomkern wird mit steigendem Abstand schwächer.
- Die Abstossung zwischen dem Elektron und dem Atomkern wird mit steigendem Abstand schwächer.

8
31
<b>88</b>
12

4.2. Atom entfernen 3	%
A	19
B	39
<b>C</b>	<b>72</b>
D	23

# Analogie



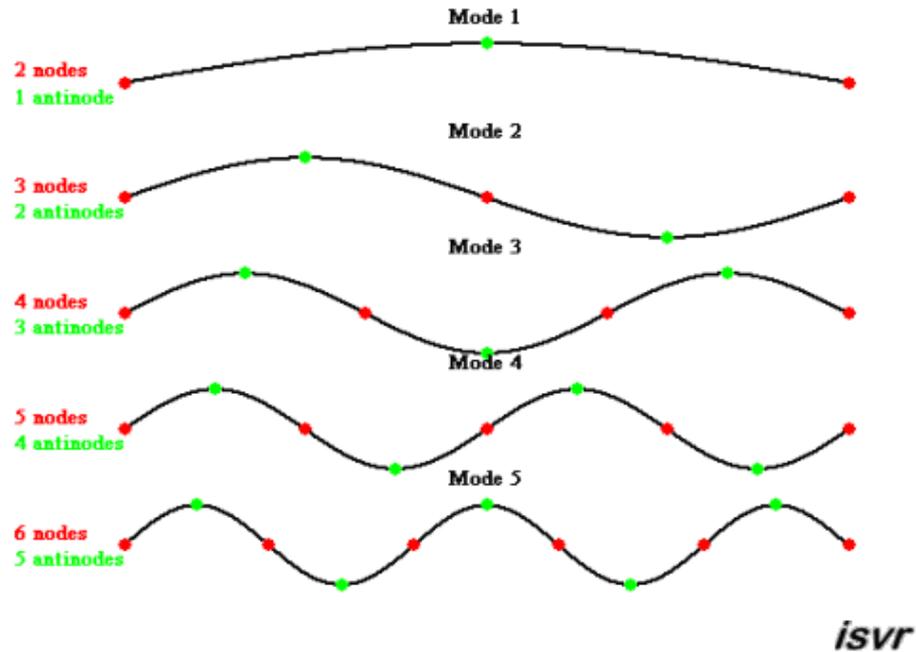
eingesperrte Wellen in der Musik

# Verhalten von eingesperreten Wellen



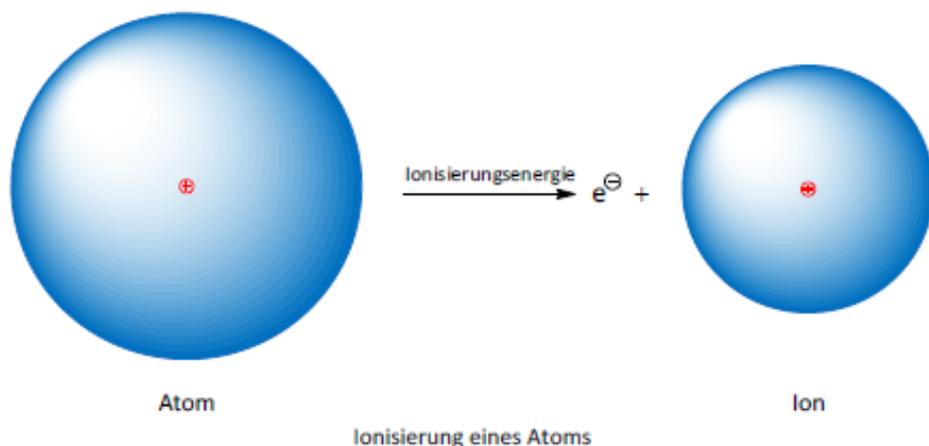
**Tönende Schläuche**

# Stehende Wellen



Schwingender Gummischlauch

11. Welche der folgenden Aussagen treffen auf die Energie zu, die benötigt wird, um ein Elektron aus einem Kohlenstoffatom (Symbol für das Kohlenstoffatom = C) zu entfernen (Ionisierungsenergie)? Kreuzen Sie alle richtigen Aussagen an:

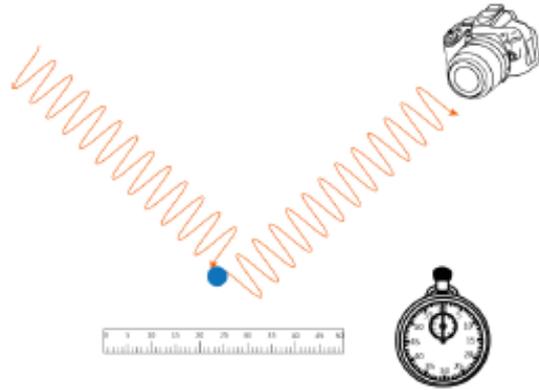


- Die Energie, die benötigt wird, um ein Elektron aus einem Atom zu entfernen, ist bei allen Elektronen des Kohlenstoffatoms gleich.
- Die Energie, die benötigt wird, um ein Elektron aus einem Kohlenstoffatom zu entfernen, wird nach jedem entfernten Elektron um den gleichen Betrag grösser.
- Die Energie, die benötigt wird, um ein Elektron aus einem Kohlenstoffatom zu entfernen, kann von einem Elektron zum nächsten sprunghaft ansteigen.
- Die Energie, die benötigt wird, um ein Elektron aus einem Kohlenstoffatom zu entfernen, wird nach jedem entfernten Elektron um den gleichen Betrag kleiner.

### 11. Kohlenstoffatom

	%	%
A	30	2
B	31	14
C	32	80
D	27	10

4. Sie möchten ein Elektron mit Strahlen beobachten, die kurze Wellenlänge aufweisen (siehe Bild). Welche Aussagen treffen auf diese Situation zu? Kreuzen Sie alle richtigen Aussagen an:



- Die Geschwindigkeit des Elektrons kann in diesem Fall exakt bestimmt werden.
- Weder der Ort noch die Geschwindigkeit des Elektrons können in diesem Fall exakt bestimmt werden.
- Sowohl der Ort als auch die Geschwindigkeit des Elektrons können in diesem Fall exakt bestimmt werden.
- Der Ort eines Elektrons kann in diesem Fall exakt bestimmt werden.
- Die Bahn des Elektrons wird durch die Strahlen beeinflusst.

A	31
B	24
C	10
D	27
E	76

5. Welche Aussagen über die Natur des Elektrons treffen zu? Kreuzen Sie alle richtigen Aussagen an:

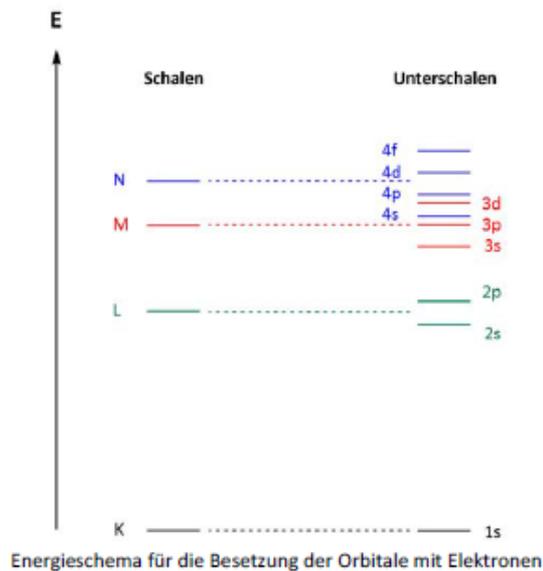
- Die Wellennatur des Elektrons kann experimentell nachgewiesen werden.
- Die Teilchennatur des Elektrons kann experimentell nachgewiesen werden.
- Elektronen wechseln ständig zwischen der Wellen- und der Teilchennatur ab.
- Elektronen können sowohl als Wellen als auch als Teilchen beschrieben werden.
- Die Elektronen sind Teilchen, die sich wellenartig bewegen (siehe Bild unten).



<b>A</b>	<b>80</b>
<b>B</b>	<b>83</b>
<b>C</b>	<b>7</b>
<b>D</b>	<b>93</b>
<b>E</b>	<b>7</b>

8. Welche Aussagen über das Auffüllen der Orbitale mit Elektronen treffen zu? Kreuzen Sie alle richtigen Aussagen an:

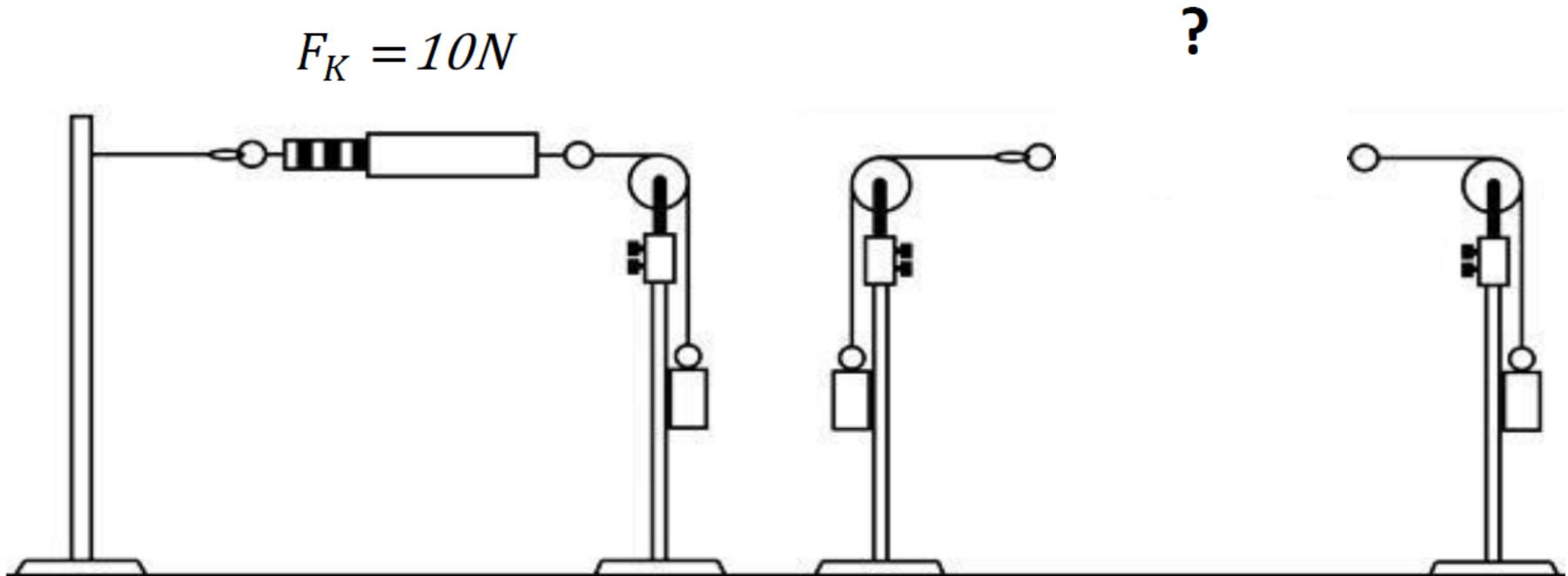
- Das 1s-Orbital wird zuerst mit zwei Elektronen aufgefüllt, bevor das 2s-Orbital mit Elektronen aufgefüllt wird.
- Das 1s-Orbital wird zuerst mit einem Elektron aufgefüllt, anschliessend wird das 2s-Orbital mit Elektronen aufgefüllt.
- Nachdem alle drei 3p-Orbitale mit Elektronen aufgefüllt wurden, werden die Orbitale der 3d-Unterschale mit Elektronen aufgefüllt.
- Nachdem alle drei 3p-Orbitale mit Elektronen aufgefüllt wurden, wird das 4s-Orbital mit Elektronen aufgefüllt.



<b>A</b>	<b>86</b>
<b>B</b>	<b>14</b>
<b>C</b>	<b>0</b>
<b>D</b>	<b>95</b>

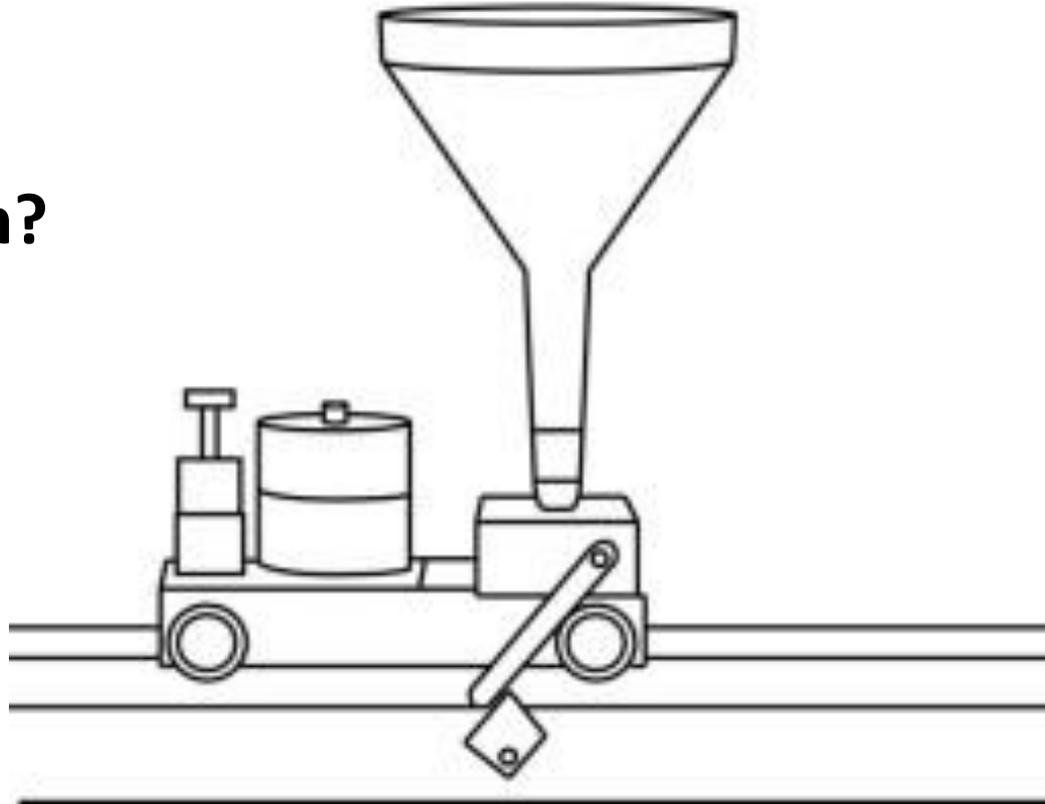
## Wie lässt sich der Erwerb intelligenten Wissens fördern?

- (1) Die Vorstellungen der Lernenden kennen und nutzen
- (2) Kognitiv aktivierende Phänomene als Einstieg verwenden
- (3) Erfinden mit kontrastierenden Fällen
- (4) Arbeit am Begriffswissen mit Texten und Grafiken
- (5) Nutzung geistiger Repräsentationswerkzeuge
- (6) Aufträge für Selbsterklärungen geben
- (7) Holistische Konfrontation von Modellen
- (8) Metakognitive Fragen stellen

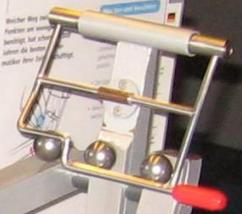


Einführung in das Thema „Reaktionskräfte“: Was zeigt der Kraftmesser an, wenn auf beiden Seiten 1-Kilogramm-Gewichte angehängt werden?

Wo wird die Kugel landen?



Kommen die Kugeln gleichzeitig ins Ziel?



Der kürzeste Weg ist nicht immer der schnellste

Welcher Weg ist schneller? Die Kugeln an verschiedenen Stellen der Bahn werden gleichzeitig losgelassen. Welcher der beiden Kugeln kommt zuerst ins Ziel?

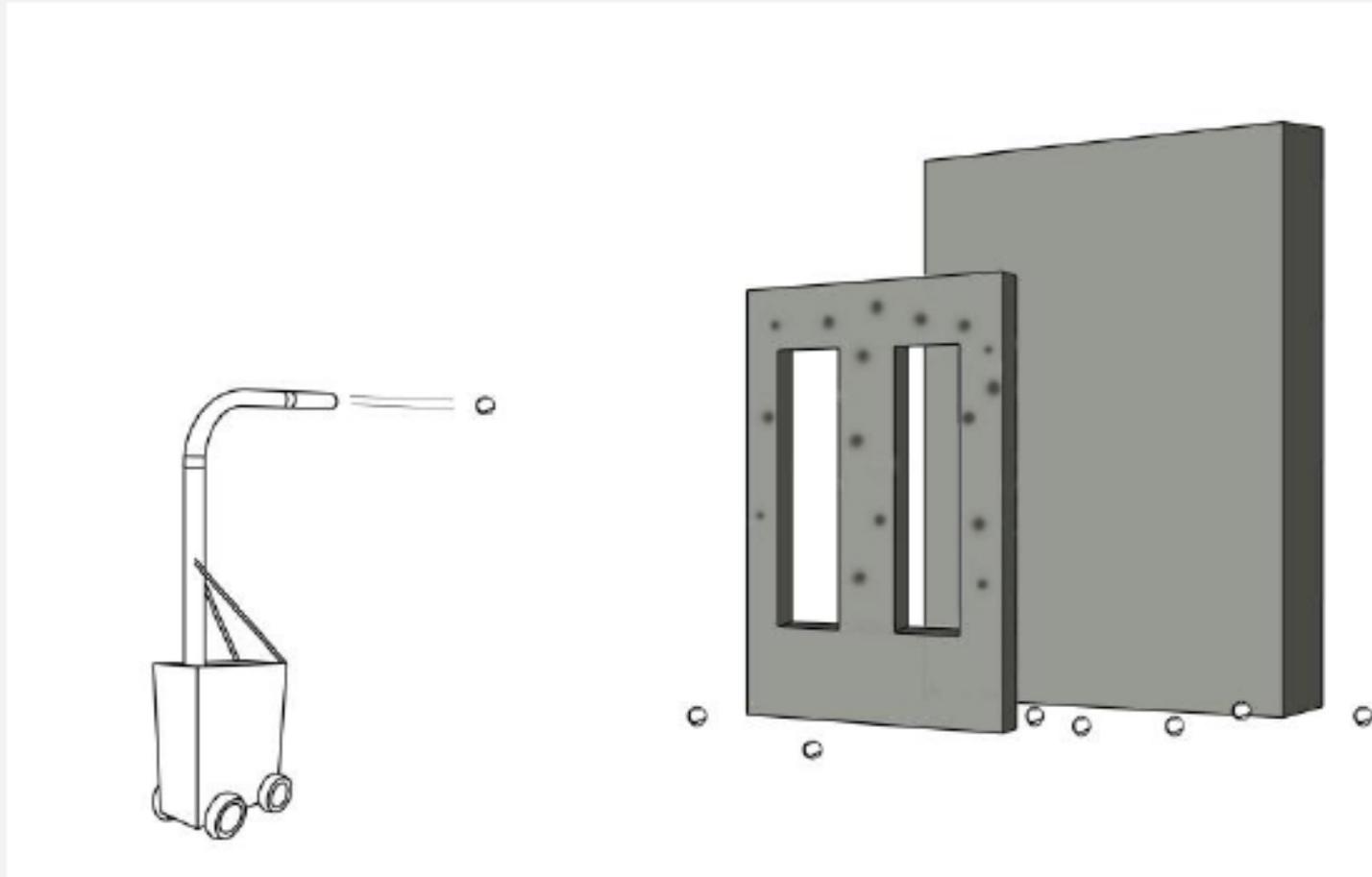
# Lichtelektrischer Effekt

Kann man Licht hören?

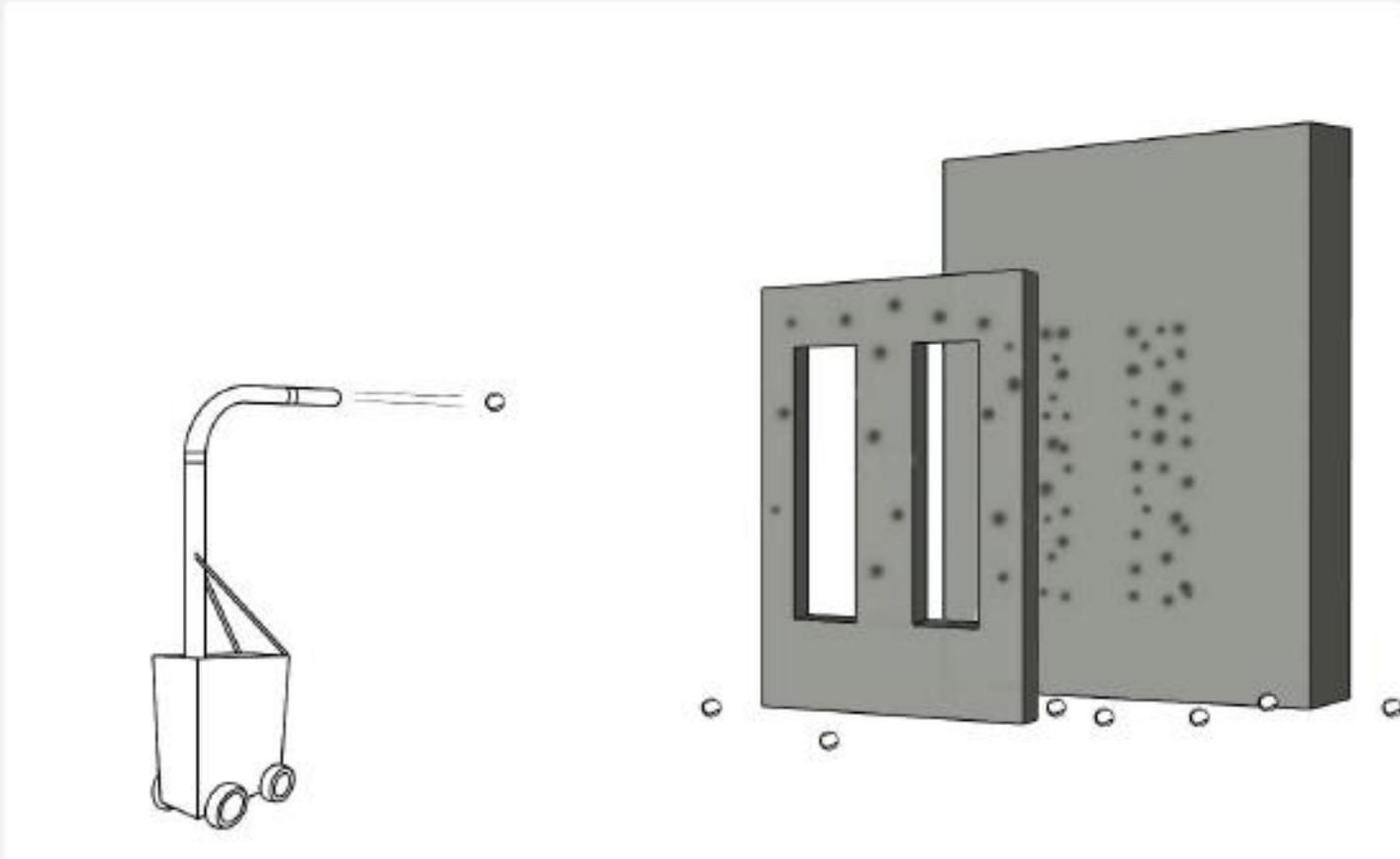
Dazu blitzen wir eine Handglocke mit dem Blitzgerät eines Fotoapparates aus kurzer Distanz an. Unmittelbar danach hört man die Glocke leise nachklingen. Der Lichtblitz hat die Glocke zum Klingen gebracht!



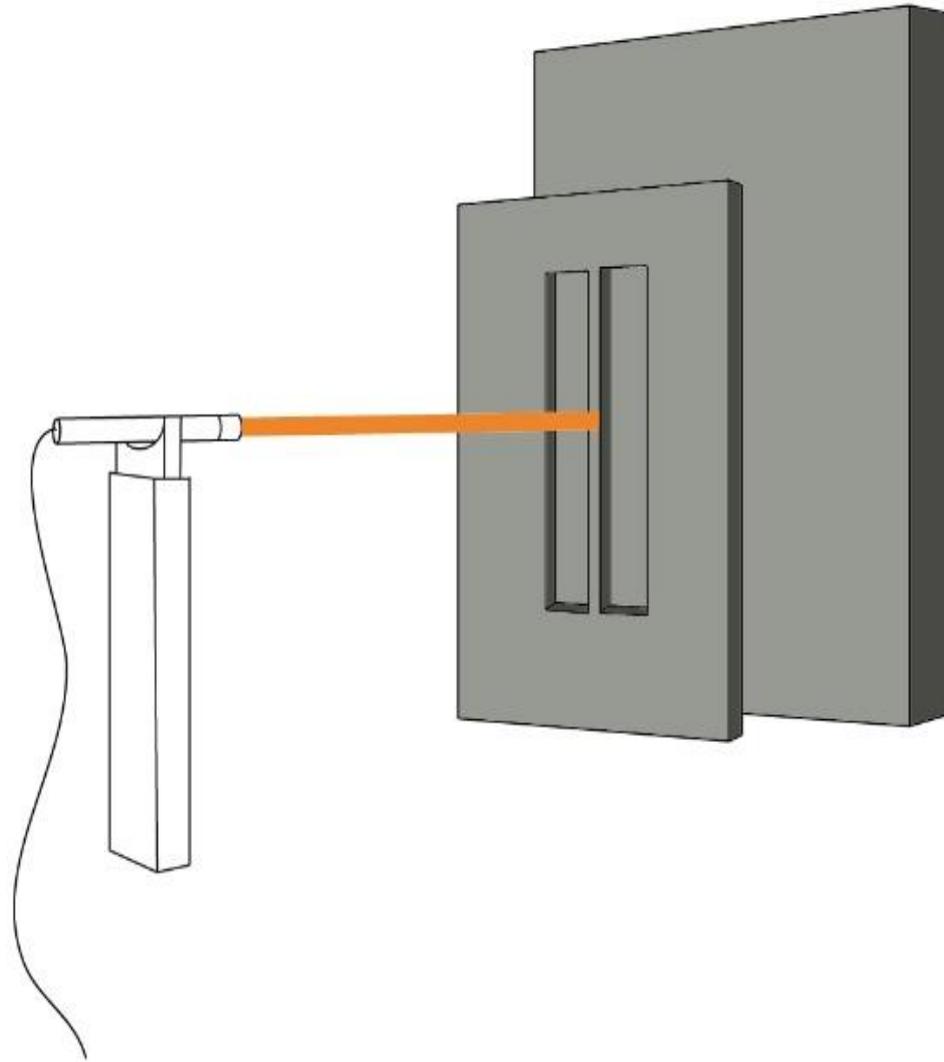
Licht hat Energie

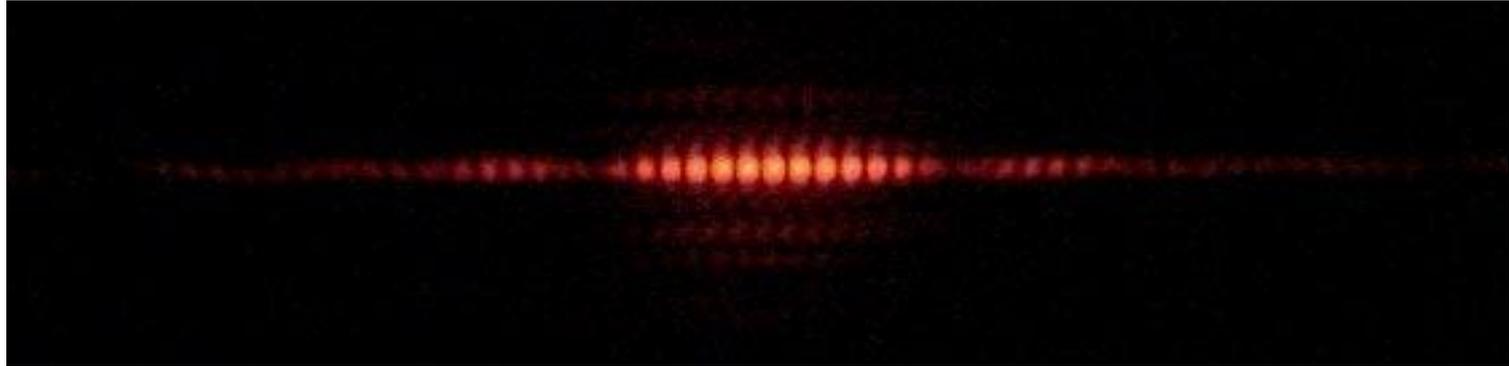


# Zwei Teilchenstrahlen

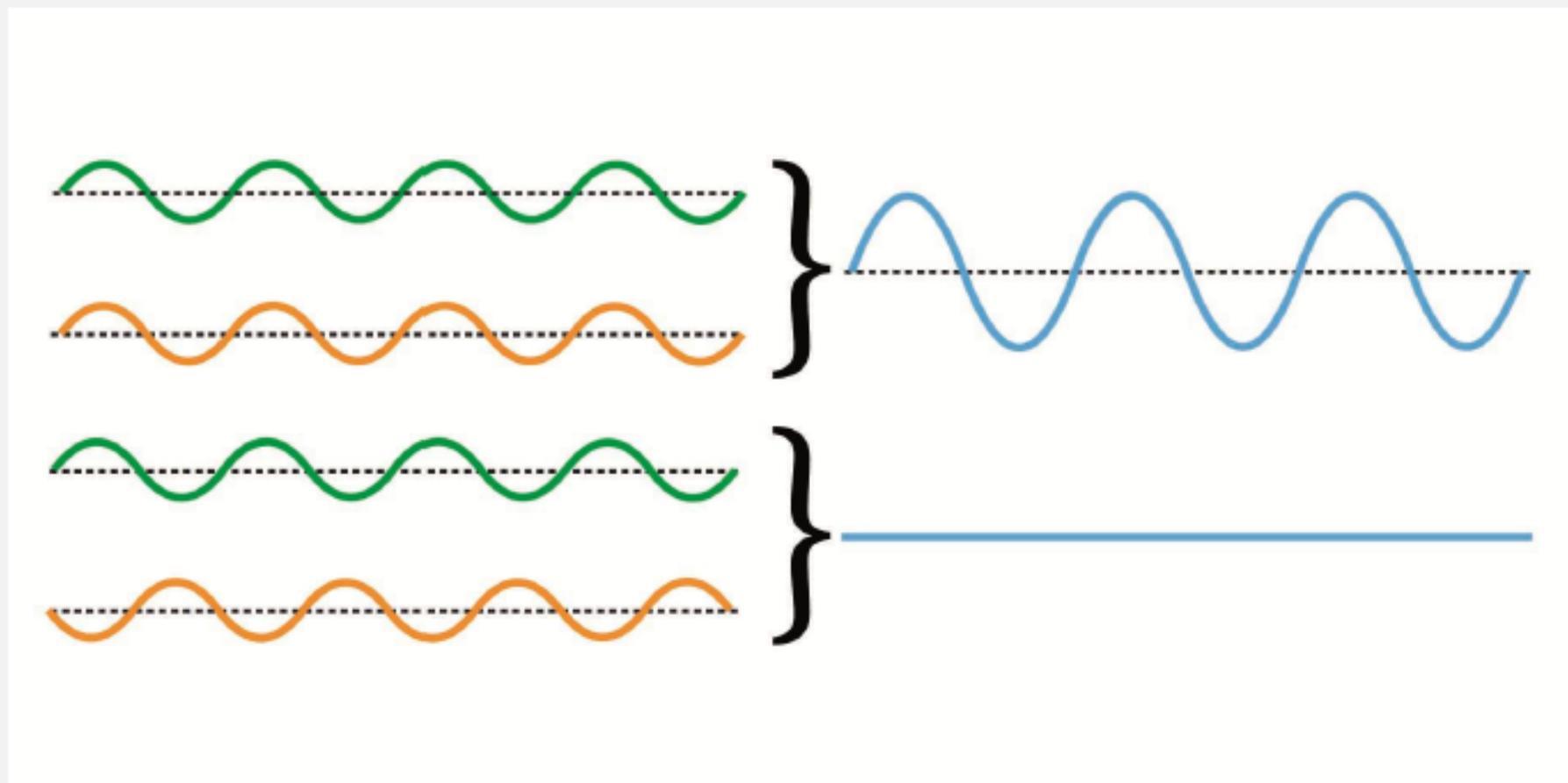


# Zwei Teilchenstrahlen

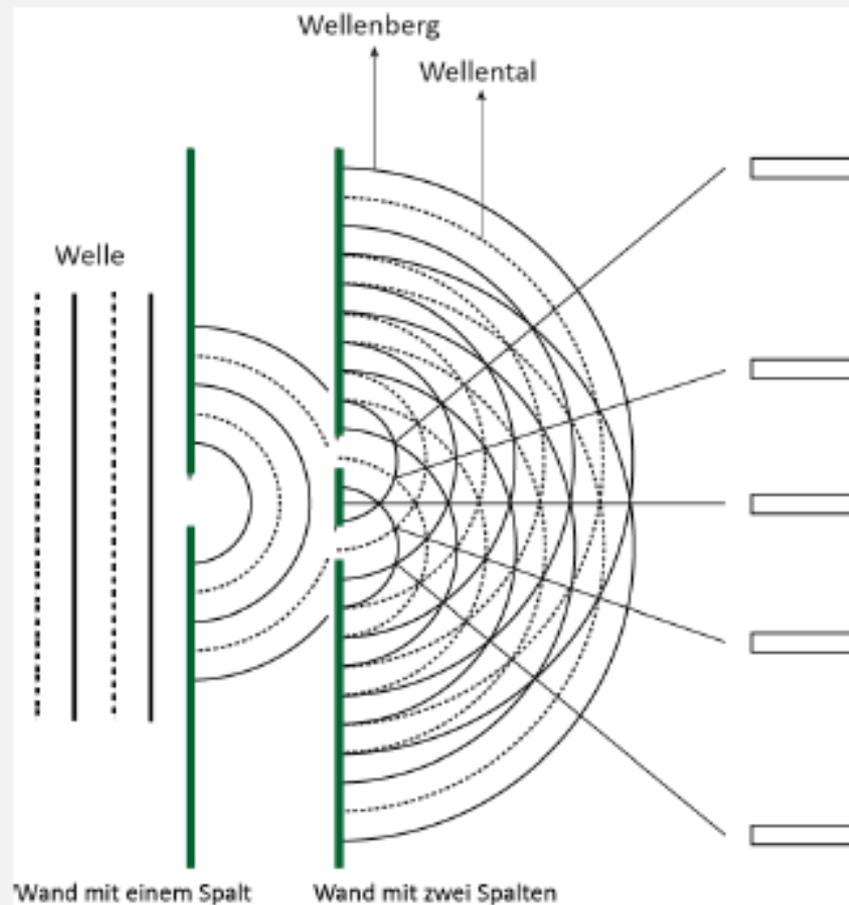




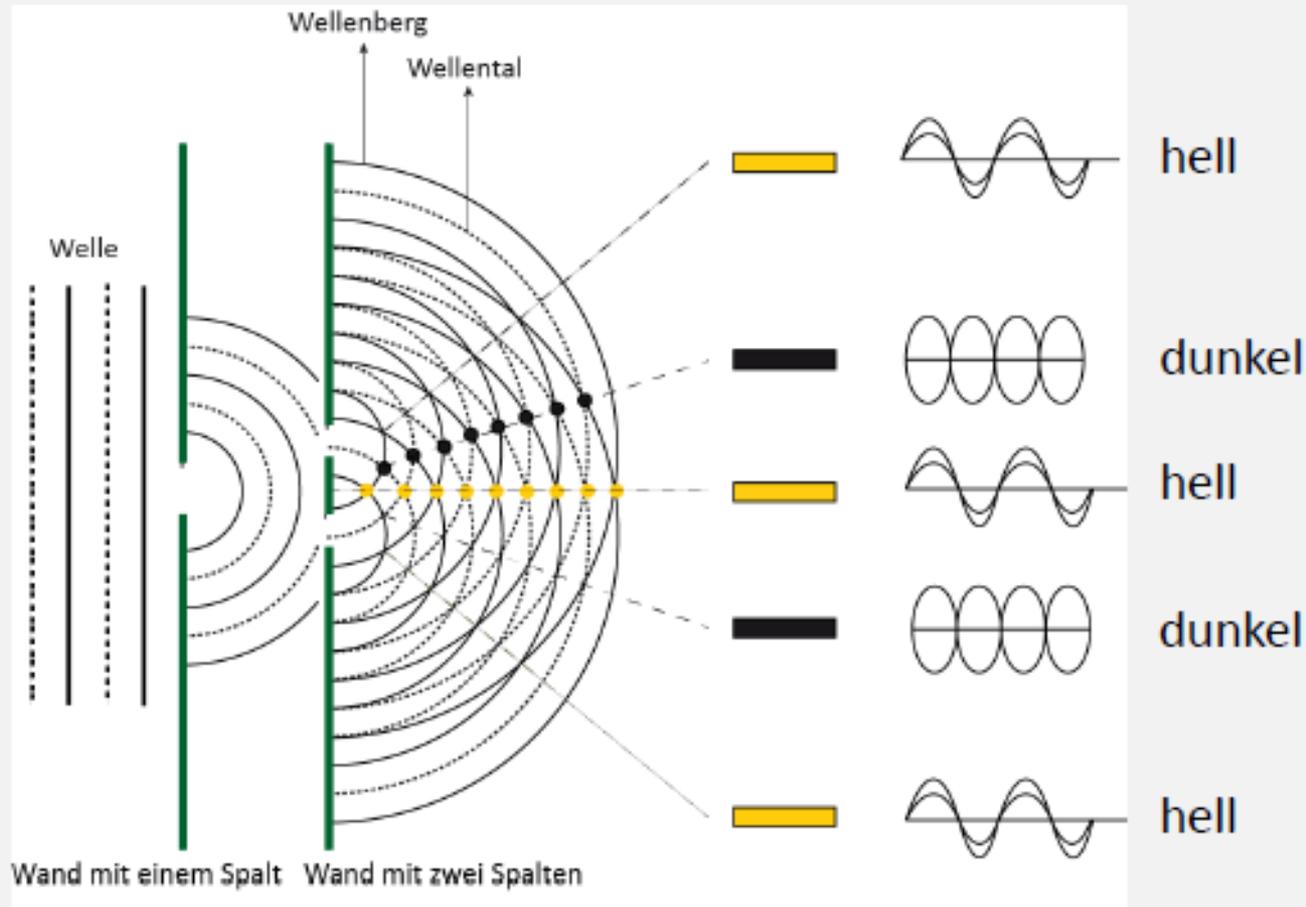
# Doppelspaltversuch: Licht



# Interferenz von Wellen



# Doppelspaltversuch



# Doppelspaltversuch

## **Kognitiv aktivierende Phänomene als Einstieg nutzen**

- **Einsicht in eigene Wissenslücken / Verständnisdefizite**
- **größeres Interesse am Lernstoff**
- **höhere Aufmerksamkeit**
- **bessere Lernmotivation**

## Kognitiv aktivierende Phänomene als Einstieg nutzen

Kapur, M. (2014). Productive Failure in Learning Math. Cognitive Science, 1 – 15.

Zwei Studien:

- (1) direct instruction vs. productive failure
- (2) direct instruction vs. productive failure vs. vicarious failure

# Who is the most consistent Basketball player?

Der Versuch, das Konzept der Standardabweichung selber zu konstruieren

Who is the most consistent Basketball player?	Points scored by Mike and Dave		
	Game	Mike	Dave
	1	24	23
	2	19	19
	3	24	26
	4	20	24
	5	25	20
	6	21	21
	7	25	23
	8	21	24
	9	26	25
	10	22	29
	11	26	24
	12	22	22
	13	27	25
	14	23	24
	15	27	27
	16	23	23
	17	28	24
	18	24	28
	19	29	24
	20	24	25

Mike and Dave are the top two players in a Basketball league. The table shows the number of points scored by Mike and Dave over the course of 20 games in the league.

An award has to be given to the more consistent player of the two. The decision has to be made mathematically.

Design as many measures of consistency as you can to determine the more consistent player.

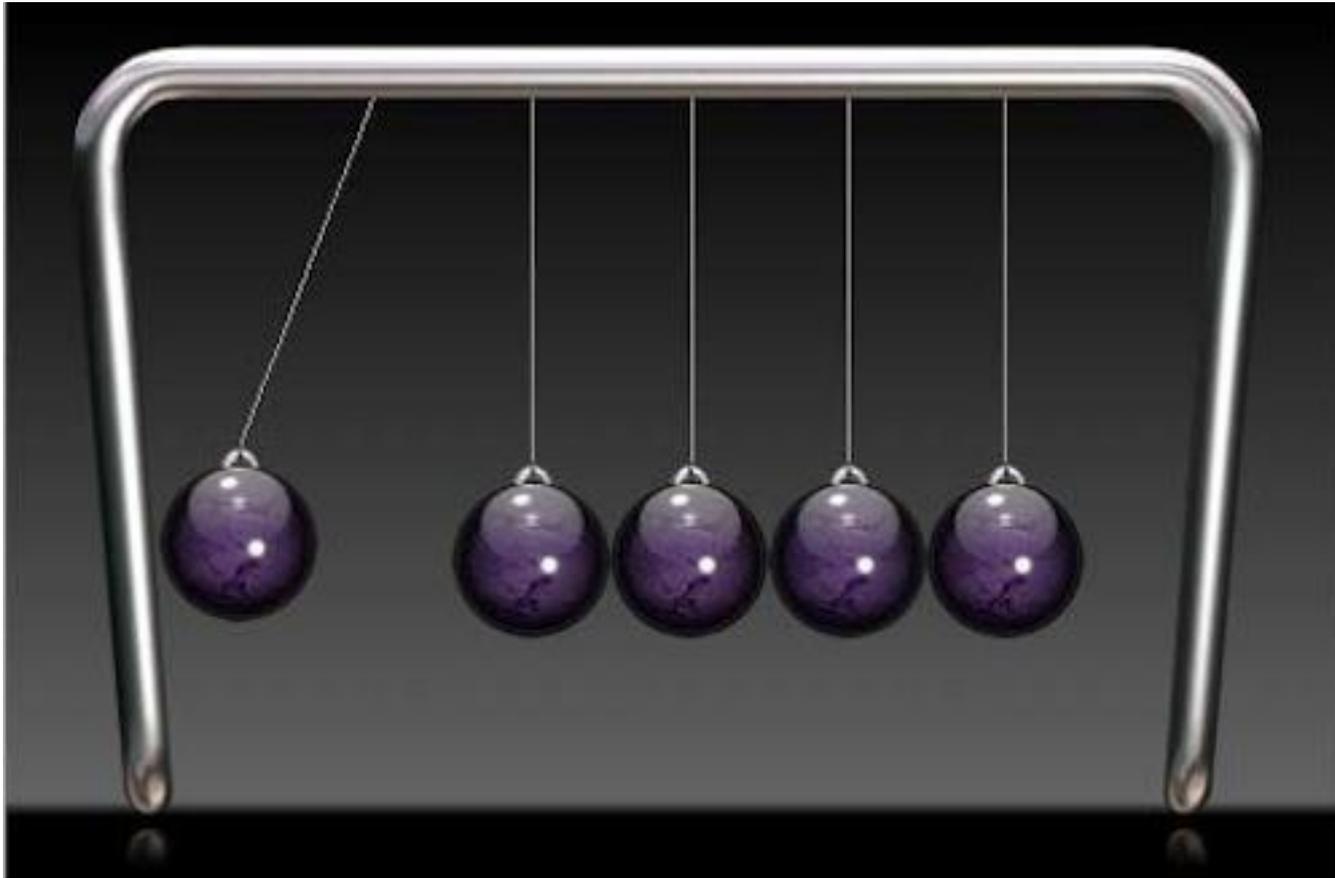
Show all working.

Fig. 1. The problem given to students during the problem-solving phase.

## Wie lässt sich der Erwerb intelligenten Wissens fördern?

- (1) Die Vorstellungen der Lernenden kennen und nutzen
- (2) Kognitiv aktivierende Phänomene als Einstieg verwenden
- (3) Erfinden mit kontrastierenden Fällen
- (4) Arbeit am Begriffswissen mit Texten und Grafiken
- (5) Nutzung geistiger Repräsentationswerkzeuge
- (6) Aufträge für Selbsterklärungen geben
- (7) Holistische Konfrontation von Modellen
- (8) Metakognitive Fragen stellen

**Wie können wir die Schülerinnen und  
Schüler besser auf das Lernen  
vorbereiten?**



Newton's Pendel veranschaulicht die Impuls- und Energieerhaltung.

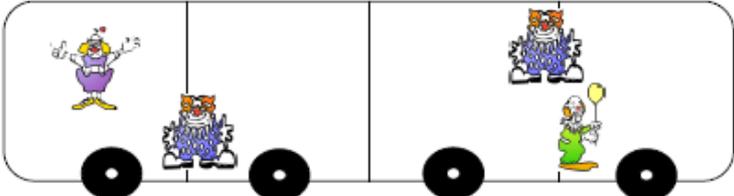
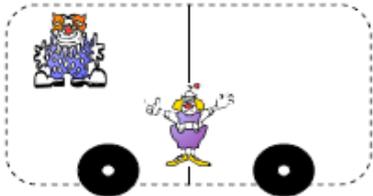


Why science teachers are not asked to monitor recess.

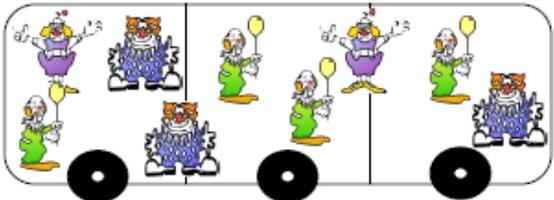
D. L. Schwartz, C. C. Chase, M. A. Oppezzo & Chin,  
D. B. (2011). Practicing Versus Inventing With  
Contrasting Cases: The Effects of Telling First on  
Learning and Transfer. *Journal of Educational  
Psychology*, 22, 1 – 17.

- Teilnehmer: 128 + 120 Schülerinnen und Schüler
- Alter: 14 / 15 Jahre
- Tell & Practice (herkömmlicher Unterricht)
- Inventing with Contrasting Cases

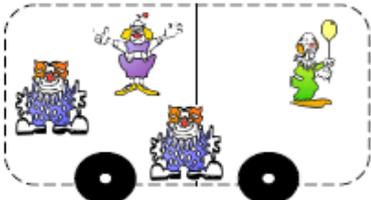
Happy Clowns = \_\_\_\_\_



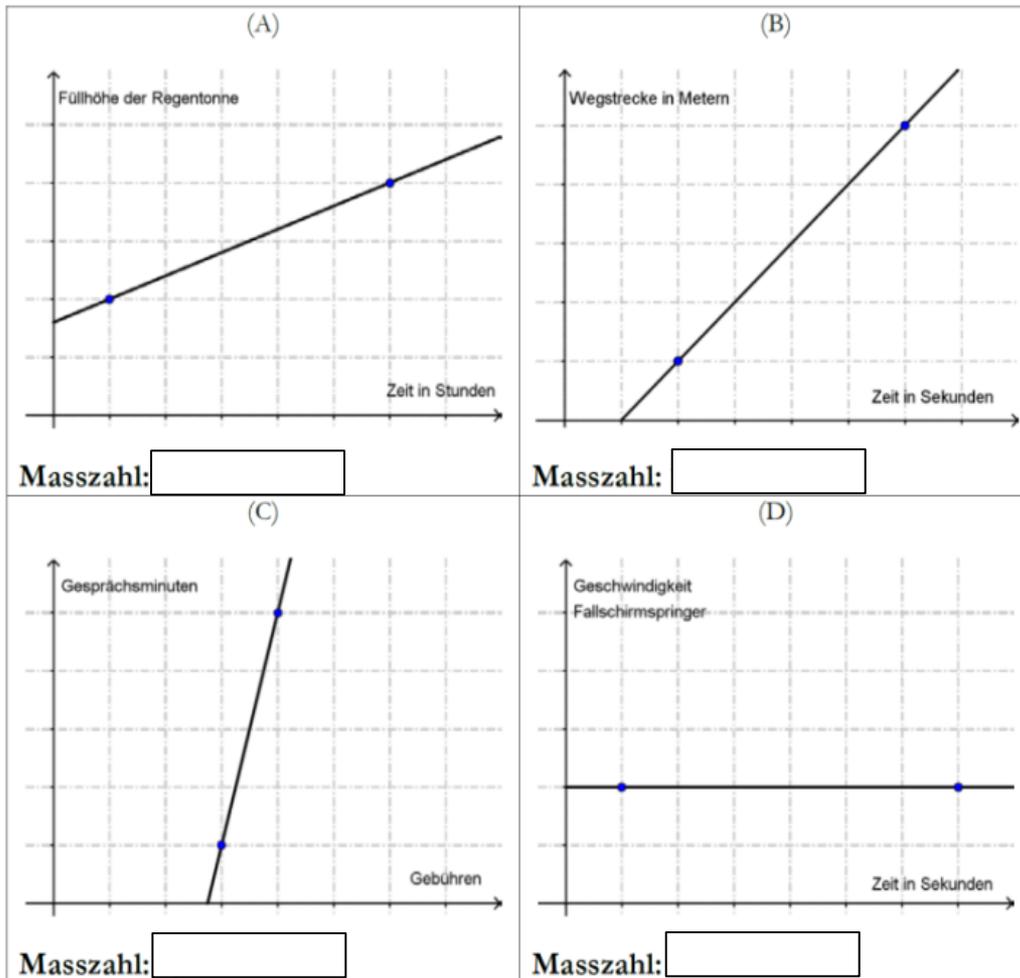
Bargain Basement Clowns = \_\_\_\_\_



Clowns 'r' Us = \_\_\_\_\_



## Alternativer Zugang: ICC (Inventing with contrasting cases)



Alice hat die folgenden Abbildungen von Geraden vor sich. Sie ruft Bob an, der die Geraden nicht sieht, und möchte ihm erzählen, wie die Geraden aussehen und insbesondere, wie steil sie sind. Erfinden Sie eine Masszahl für „Steilheit“. Drücken Sie die Steilheit einer Geraden durch eine einzige Zahl aus, die Alice dann am Telefon nennen kann. Regeln:

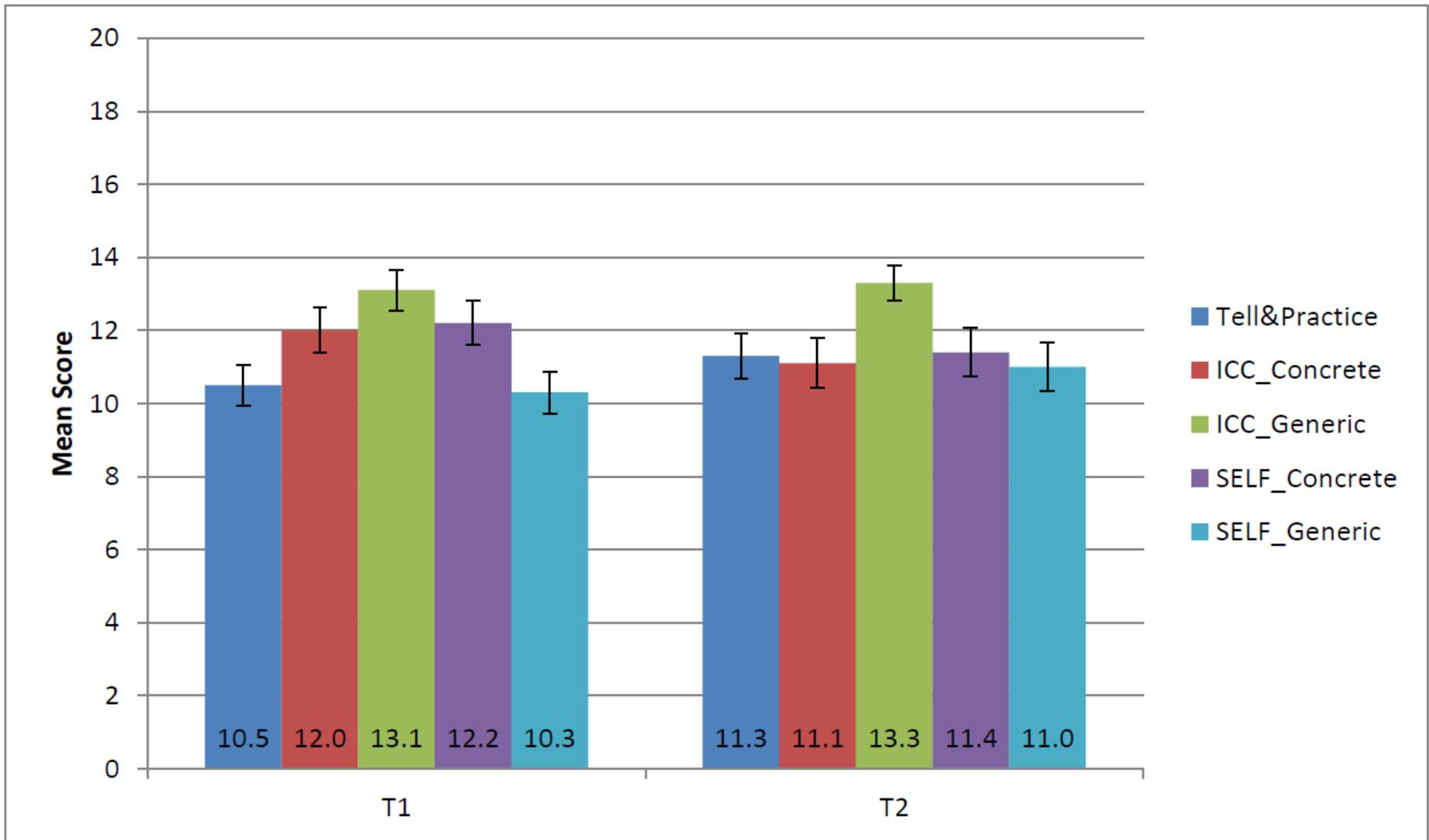
1. Die Zahl soll für jede mögliche Gerade nach derselben Regel zustande kommen.
2. Es muss für Alice möglich sein, die Masszahlen allein aus den abgebildeten Grafiken ohne weitere Hilfsmittel präzise zu bestimmen.
3. Die Grösse der Zahl gibt Bob eine präzise Vorstellung davon, wie steil eine Gerade ist.

## Alternativer Zugang: ICC (Inventing with contrasting cases)



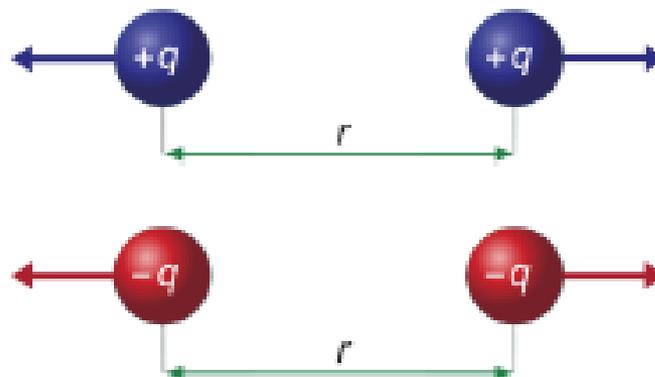
### Referenzen:

- Schalk, L., Barth, A., & Schumacher, R. (2012). Mathematische Konzepte verstehen: Erfinden schlägt Erklären. Talk given at the *77. Tagung der Arbeitsgruppe für Empirische Pädagogische Forschung (AEPF)*, Bielefeld, Germany.
- Schalk, L., Barth, A., Deuber, R., & Schumacher, R. (2013). Constructing a base for knowledge transfer: Implementing comparison activities in classrooms. Poster presented at the *Third International Conference on Analogy* in Dijon, France.



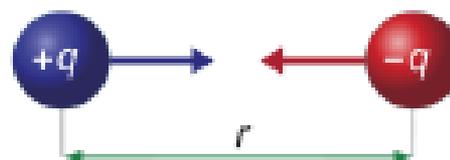
Viele chemische Phänomene beruhen darauf, dass zwischen gleichen Ladungen Abstossungskräfte und zwischen verschiedenen Ladungen Anziehungskräfte wirken. Protonen, die positiv geladen sind, und Elektronen, die negativ geladen sind, stossen sich deshalb untereinander ab:

*Abstossung bei gleichen Ladungen:*



Protonen und Elektronen hingegen ziehen sich aufgrund unterschiedlicher Ladungen gegenseitig an:

*Anziehung bei verschiedenen Ladungen:*



Es wird eine Formel gesucht, mit deren Hilfe man die Coulombkraft  $F$ , die zwischen zwei geladenen Körpern wirkt, berechnen kann.

$$F \approx \dots\dots\dots$$

**Beispiel 1**

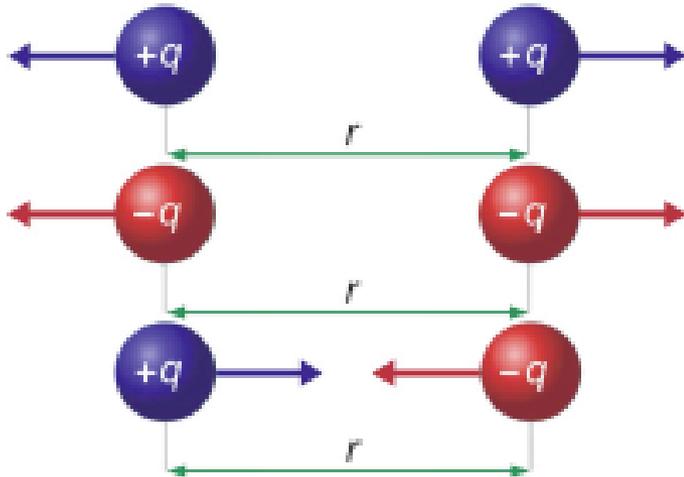
Wenn man einen Bernsteinstab mit einem Seidentuch reibt, wird der Stab negativ aufgeladen. Durch Berührung kann die Ladung auf Papierkügelchen übertragen werden. Lädt man zwei Kügelchen auf und bringt sie in die Nähe voneinander, wirkt aufgrund der Ladung  $q_1$  des einen Kügelchens und der Ladung  $q_2$  des zweiten Kügelchens eine abstossende Kraft. Die Grösse der Kraft ist dabei von der Ladung von beiden Kügelchen abhängig.

a) Lädt man ein solches Kügelchen wie beschrieben elektrisch auf, und bringt es in die Nähe eines zweiten, nicht geladenen Kügelchens, wirkt keine Kraft.

b) Nehmen wir an, der Abstand bleibt unverändert. Wird die Ladung von einem der beiden geladenen Kügelchen in diesem Fall verdoppelt, wird die resultierende Kraft auch verdoppelt.

**F** ~

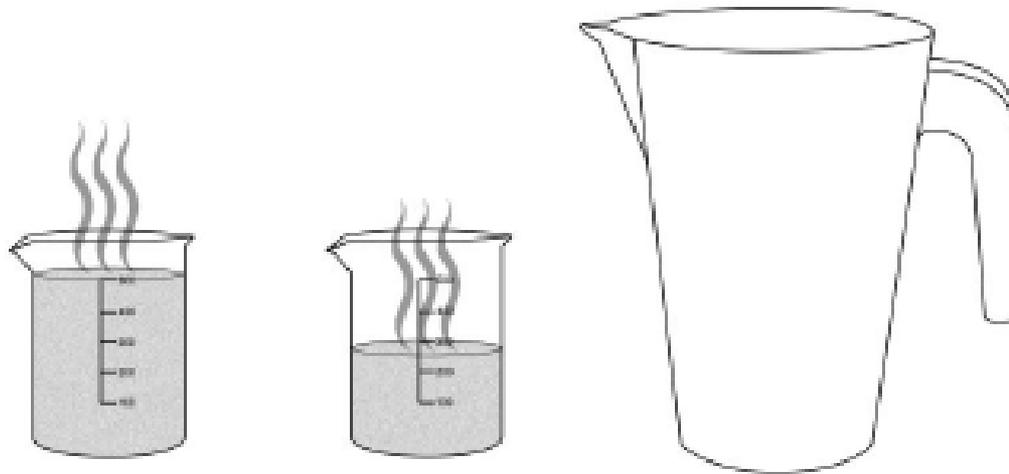
# Coulomb-Gesetz



$$F \sim \frac{q_1 \times q_2}{r^2}$$

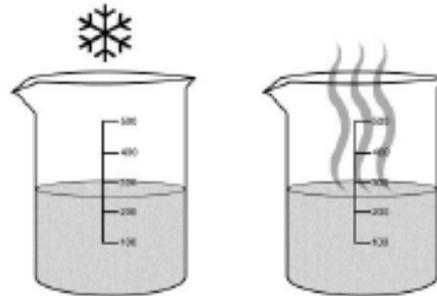
**Selbständiges Erarbeiten des Unterschieds zwischen  
Temperatur und innerer Energie  
mit kontrastierenden Fällen**

(1) Aus einer grossen Kanne wird heisses Wasser in zwei gleiche Bechergläser gefüllt. Das eine Glas wird ganz gefüllt, das andere nur zur Hälfte.

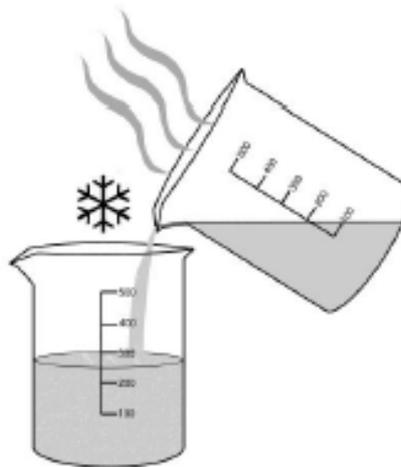


Vergleichen Sie die beiden gefüllten Becher: Welche Eigenschaften haben sie gemeinsam, durch welche Eigenschaften unterscheiden sie sich?

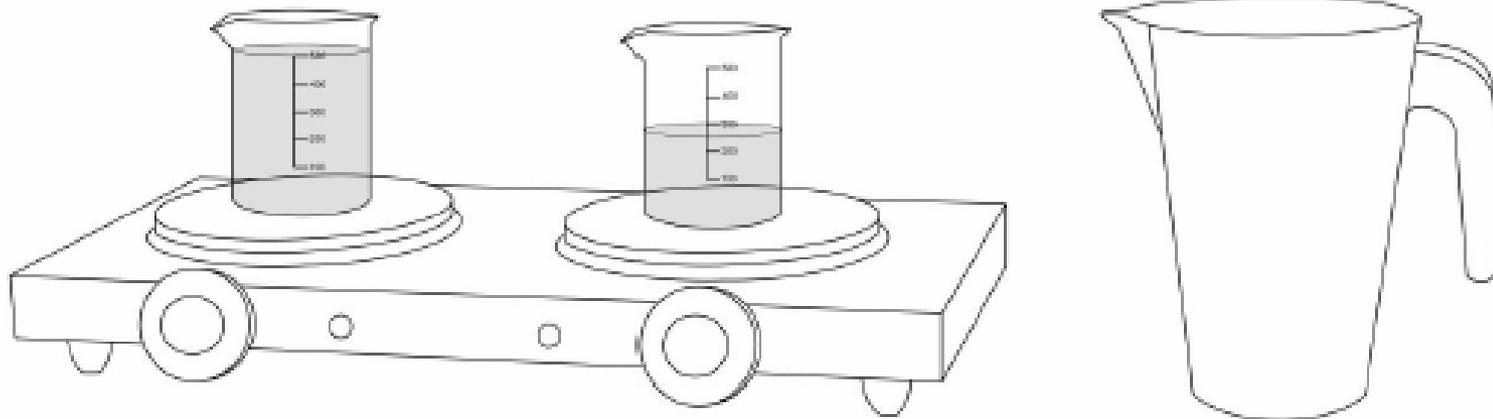
(2) (a) Ausgangssituation: Zwei gleiche Bechergläser werden mit derselben Menge Wasser gefüllt. In einem Glas ist das Wasser kalt, im anderen Glas befindet sich heisses Wasser.



(b) Das heisse Wasser wird in das Glas mit dem kalten Wasser geschüttet.



(4) Zwei gleiche Bechergläser werden mit unterschiedlichen Mengen Wasser aus der gleichen Kanne gefüllt. Das Wasser ist also in beiden Gläsern gleich warm. Nun werden die Gläser auf gleiche Heizplatten gestellt und einige Minuten auf gleicher Stufe erwärmt.



- Welche Eigenschaften der gefüllten Gläser haben sich durch das Erwärmen verändert?
- Gibt es Eigenschaften, die sich bei beiden gleich geändert haben?
- Gibt es Eigenschaften, die sich in den beiden Fällen unterschiedlich geändert haben?

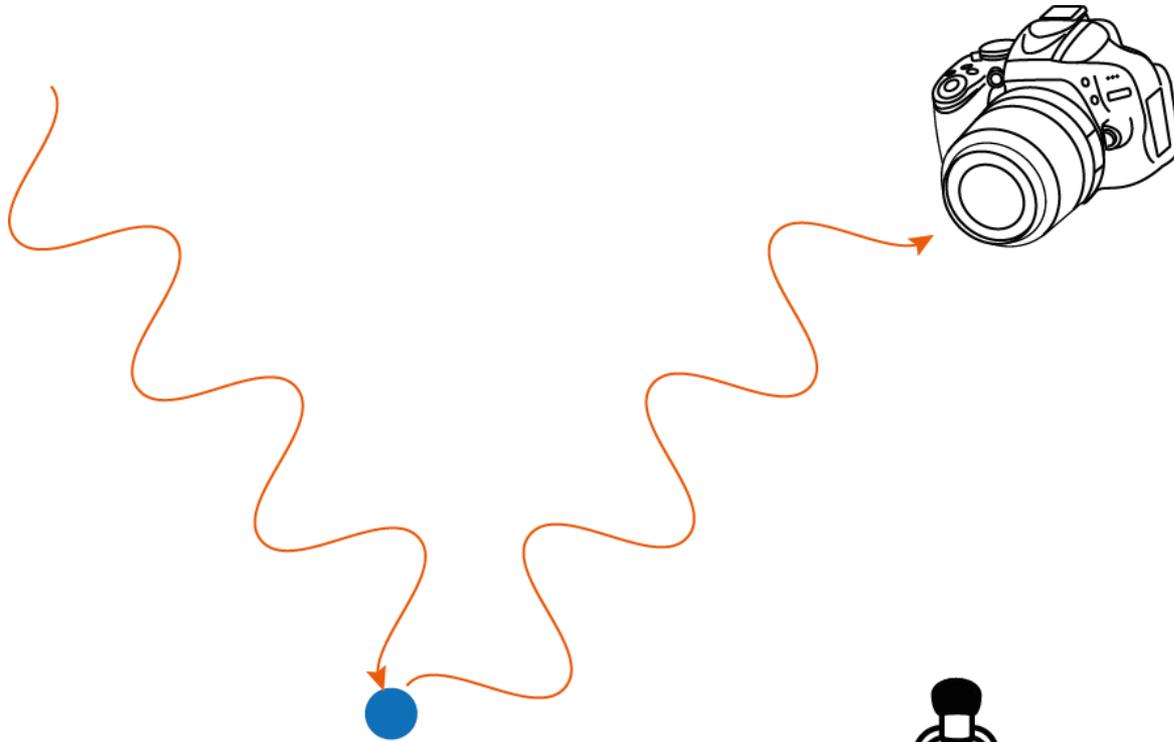
# Konstruktion der Unschärfebeziehung

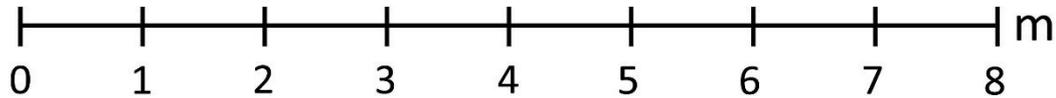


Gleichzeitige Bestimmung des Ortes und der Geschwindigkeit bei einem Auto

Aufgabe:

Gleichzeitige Bestimmung des Ortes und der  
Geschwindigkeit eines Elektrons

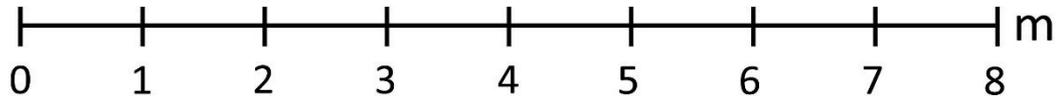




## Beobachtung von Felsen mittels Meereswellen



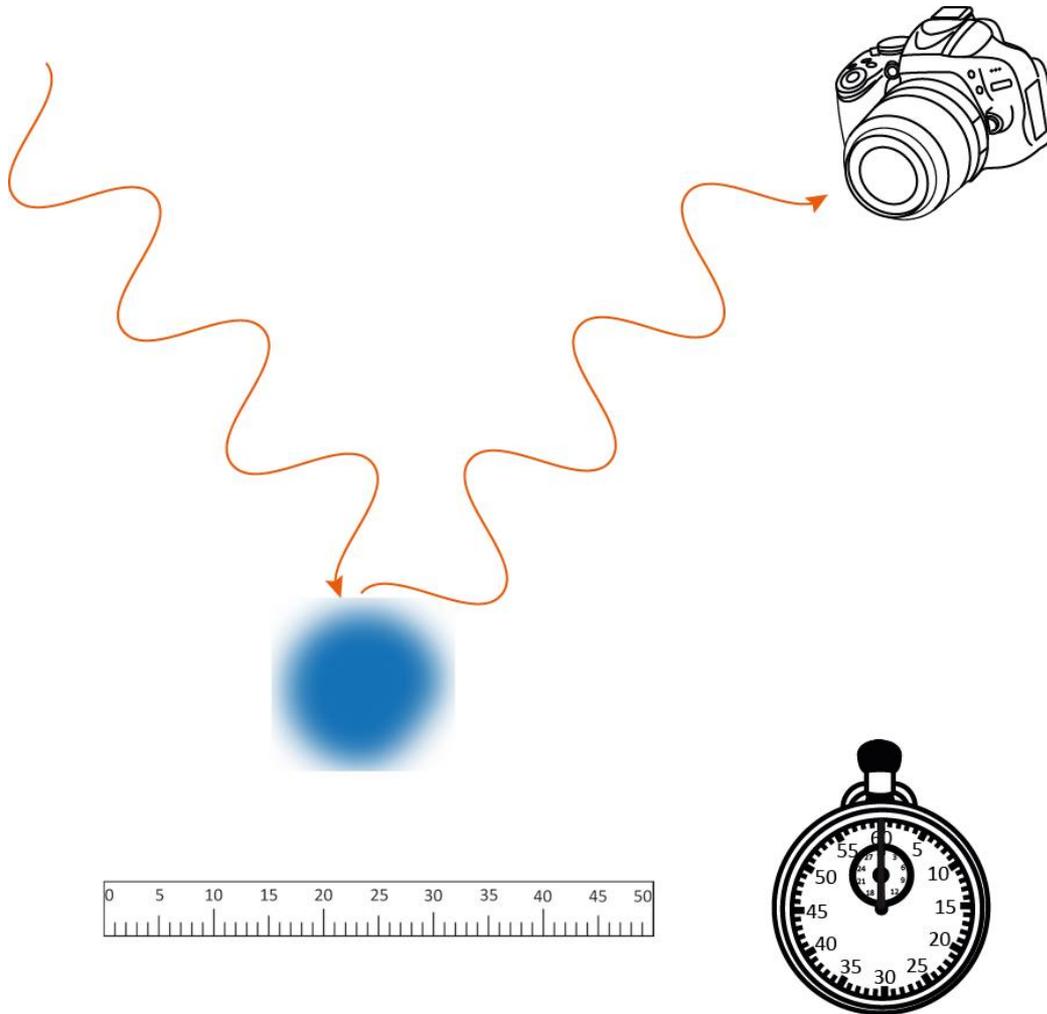
**Felsen können beobachtet werden: Bildung  
von Gischt**



## Beobachtung eines dünnen Stabes mittels Meereswellen

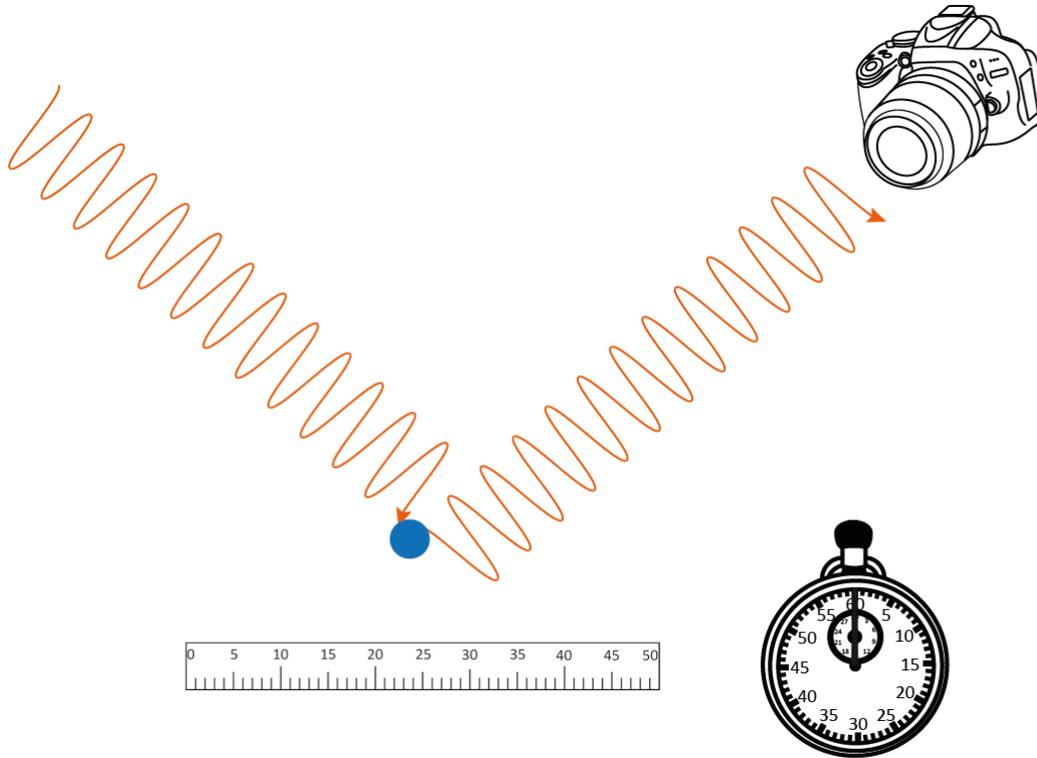
Regel:

Mit Licht einer bestimmten Wellenlänge können nur Objekte scharf abgebildet werden, die grösser sind als die Wellenlänge des verwendeten Lichts.



Beobachtung eines  
Elektrons mit  
langwelliger  
Strahlung

- Ungenauigkeit in  
der Orts-  
bestimmung
- unscharfes Bild  
des Elektrons



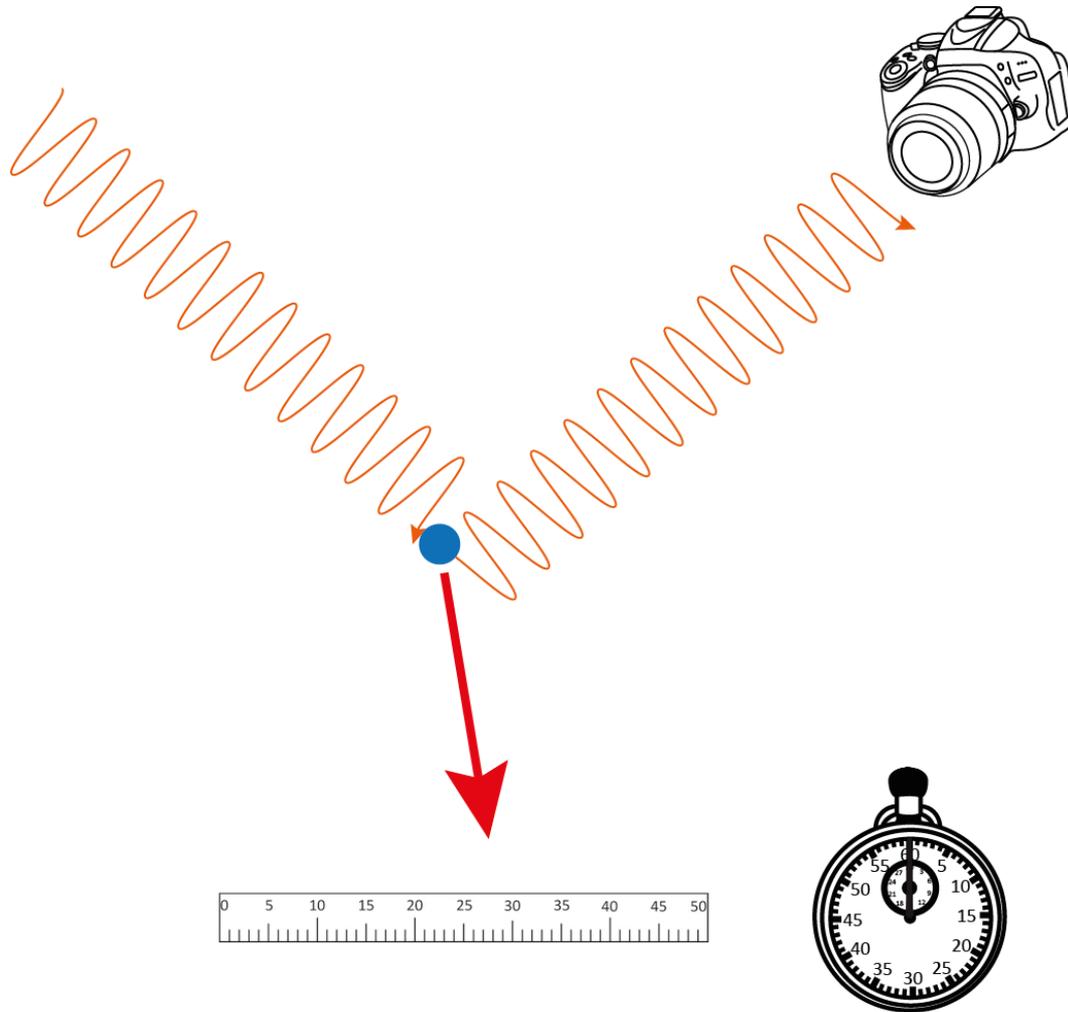
Lösung: Beobachtung des Elektrons mit kurzweilliger Strahlung

# Problem

$$E \sim \frac{1}{\lambda}$$

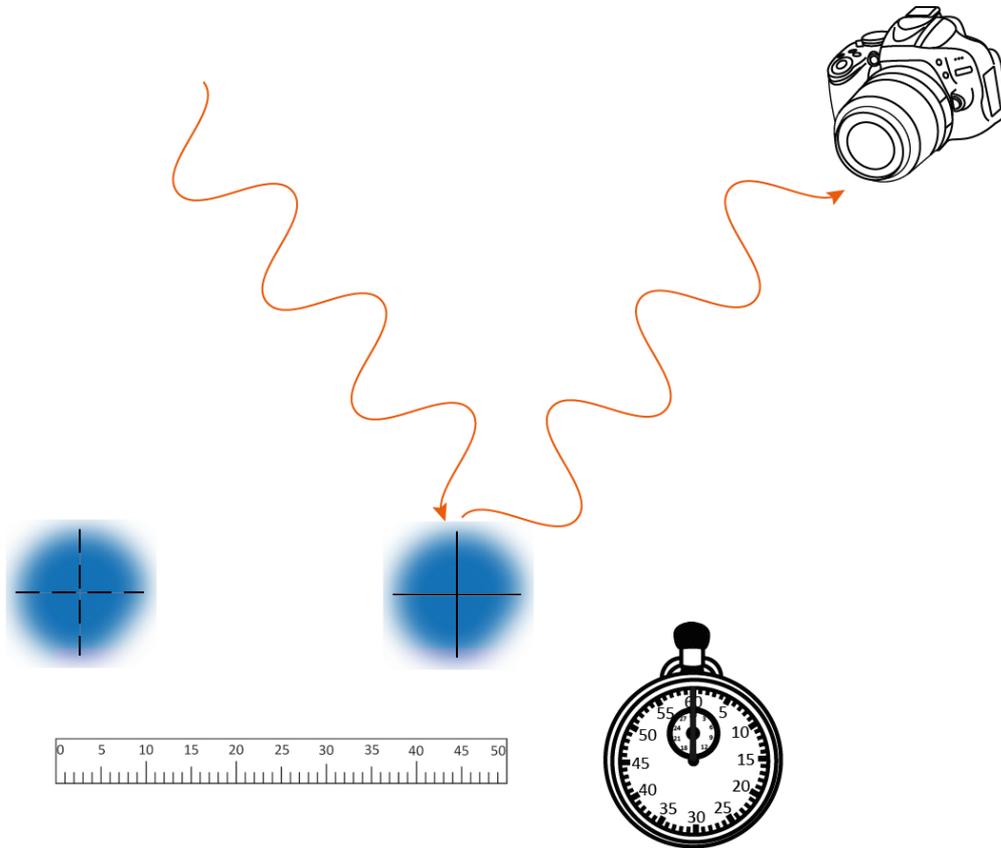
$\lambda$  = Wellenlänge der Strahlung

**kurzwellige Strahlung → hohe Energie**



Beobachtung eines  
Elektrons mit  
kurzwelliger Strahlung

- Störung der  
Bewegung des  
Elektrons
- Ungenauigkeit in  
der Geschwindig-  
keitsbestimmung

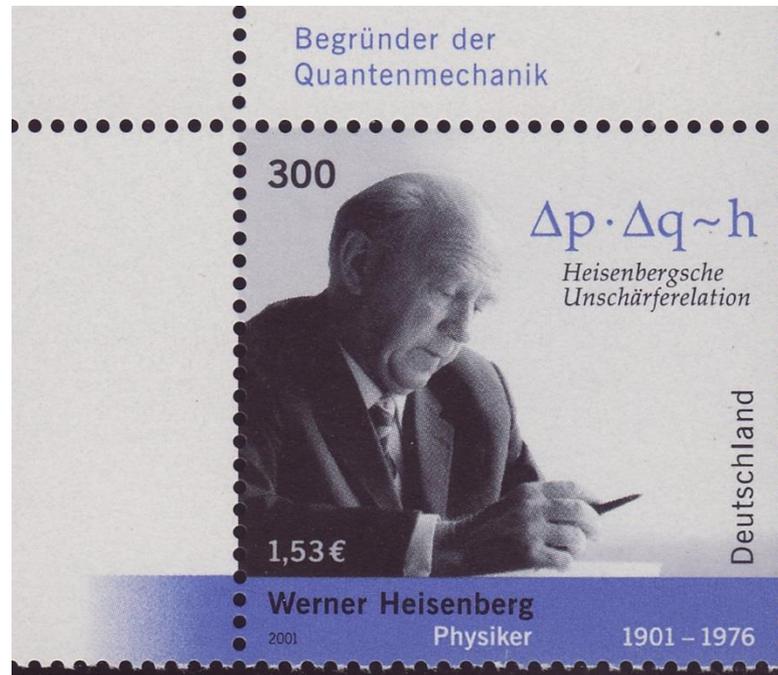


zweimalige Beobachtung  
eines Elektrons mit  
langwelliger Strahlung

- ungenaue  
Ortsbestimmung
- aber genaue  
Geschwindigkeits-  
bestimmung

# Unschärfebeziehung

Es ist **prinzipiell** unmöglich, den Ort **und** die Geschwindigkeit eines Elektrons **gleichzeitig** genau zu bestimmen.



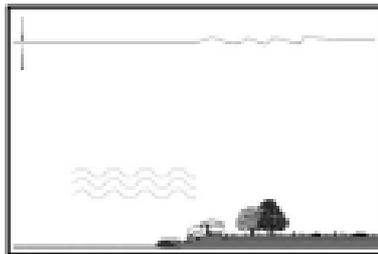
## Wie lässt sich der Erwerb intelligenten Wissens fördern?

- (1) Die Vorstellungen der Lernenden kennen und nutzen
- (2) Kognitiv aktivierende Phänomene als Einstieg verwenden
- (3) Erfinden mit kontrastierenden Fällen
- (4) Arbeit am Begriffswissen mit Texten und Grafiken
- (5) Nutzung geistiger Repräsentationswerkzeuge
- (6) Aufträge für Selbsterklärungen geben
- (7) Holistische Konfrontation von Modellen
- (8) Metakognitive Fragen stellen

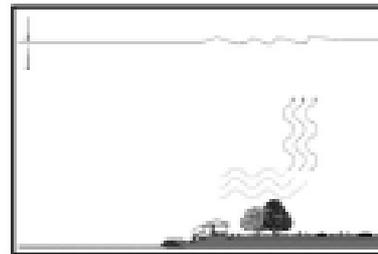
# Wie können wir die aktive Wissenskonstruktion unterstützen?

- Richard E. Mayer, Mary Hagarty, Sarah Mayer & Julie Campbell (2005). When Static Media Promote Active Learning: Annotated Illustrations Versus Narrated Animations in Multimedia Instruction. *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 11, 256 – 265.

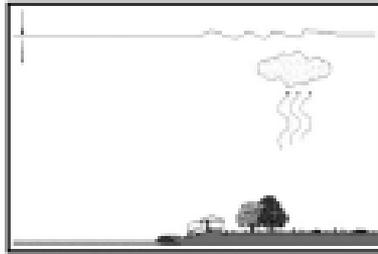
- Teilnehmer: 95 Studierende, durchschnittliches Alter 18.5 Jahre
- Vermutung: Das Vergleichen von Grafiken und Texten unterstützt die Wissenskonstruktion stärker als das Betrachten einer Computeranimation und das Hören eines gesprochenen Textes.
- Bedingungen:
  - Grafik & Text-Gruppe
  - Animations-Gruppe



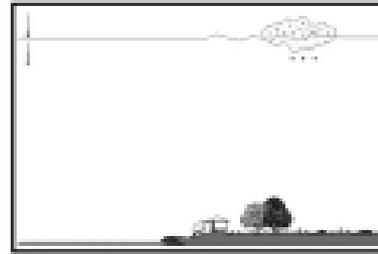
1. Cool moist air moves over a warmer surface and becomes heated.



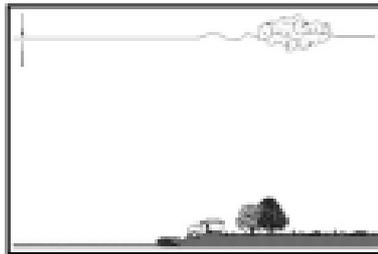
2. Warmed moist air near the earth's surface rises rapidly.



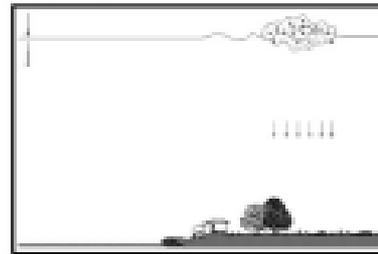
3. As the air in this updraft cools, water vapor condenses into water droplets and forms a cloud.



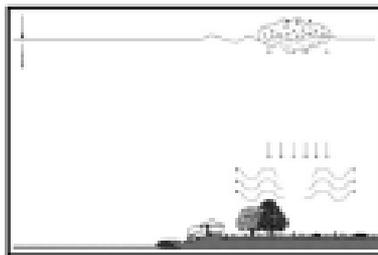
4. The cloud's top extends above the freezing level, so the upper portion of the cloud is composed of tiny ice crystals.



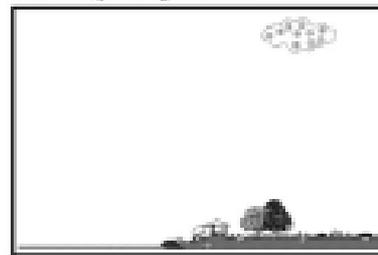
5. Eventually, the water droplets and ice crystals become too large to be suspended by the updrafts.



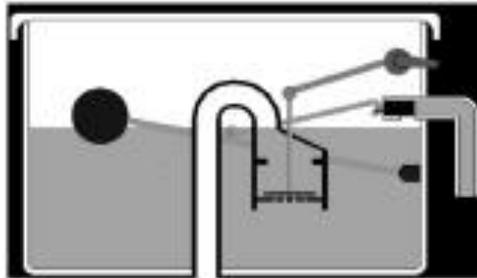
6. As raindrops and ice crystals fall through the cloud, they drag some of the air in the cloud downward, producing downdrafts.



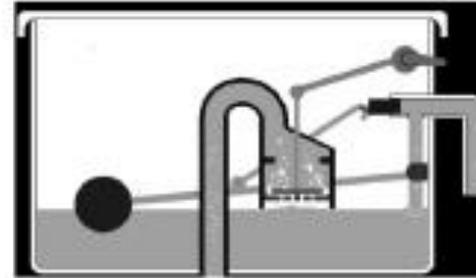
7. When downdrafts strike the ground, they spread out in all directions, producing the gusts of cool wind people feel just before the start of the rain.



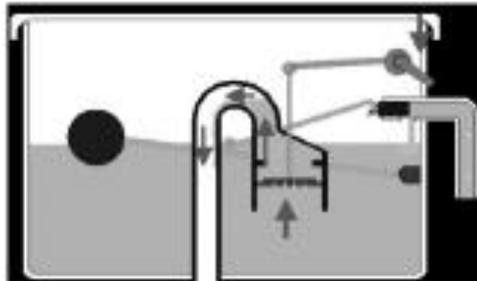
8. Within the cloud, the rising and falling air currents cause electrical charges to build.



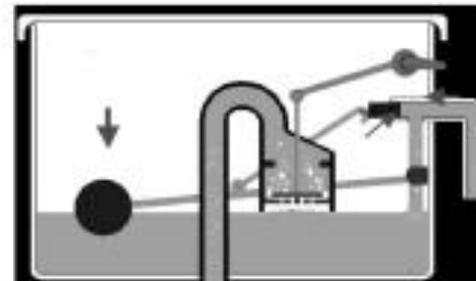
## How a Toilet Tank Works



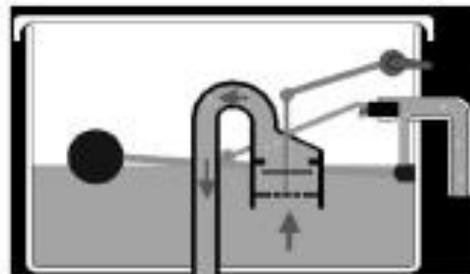
When the water is so low that the air enters the siphon bell, this breaks the suction in the siphon pipe and water stops flowing through the pipe.



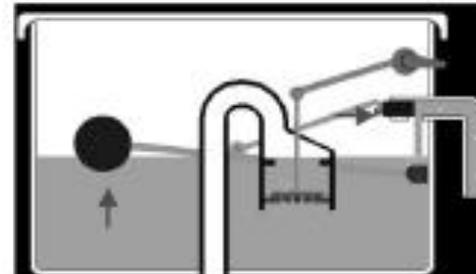
When the handle is pressed down, the connecting rod is pulled up, causing the lower disk to rise and press against the upper disk, pushing it up. Water is forced to the top of the siphon pipe and down into the toilet bowl.



As the water in the tank empties, the float drops toward the bottom of the tank. As the float drops, the float arm also drops pulling out the inlet valve. When the inlet valve is pulled out, it uncovers a hole in the inlet pipe, allowing water to enter the tank. This makes the water level in the tank rise.



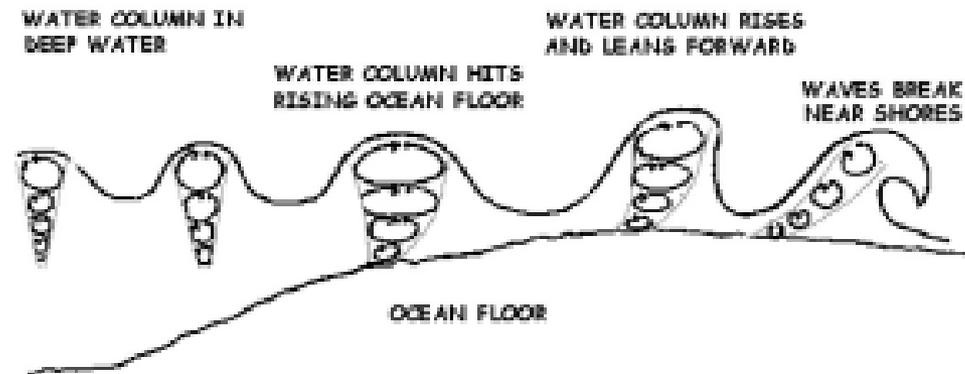
Once the handle is released, the two disks start to drop again and separate from each other. Because the lower disk has holes, water from the tank can pass through the holes in the lower disk and around the edges of the upper disk. This allows the water to continue to flow through the siphon pipe.



The float and float arm rise with the water level. When the water level, float and float arm are high enough, the inlet valve is pushed back into its original position, stopping the incoming water.

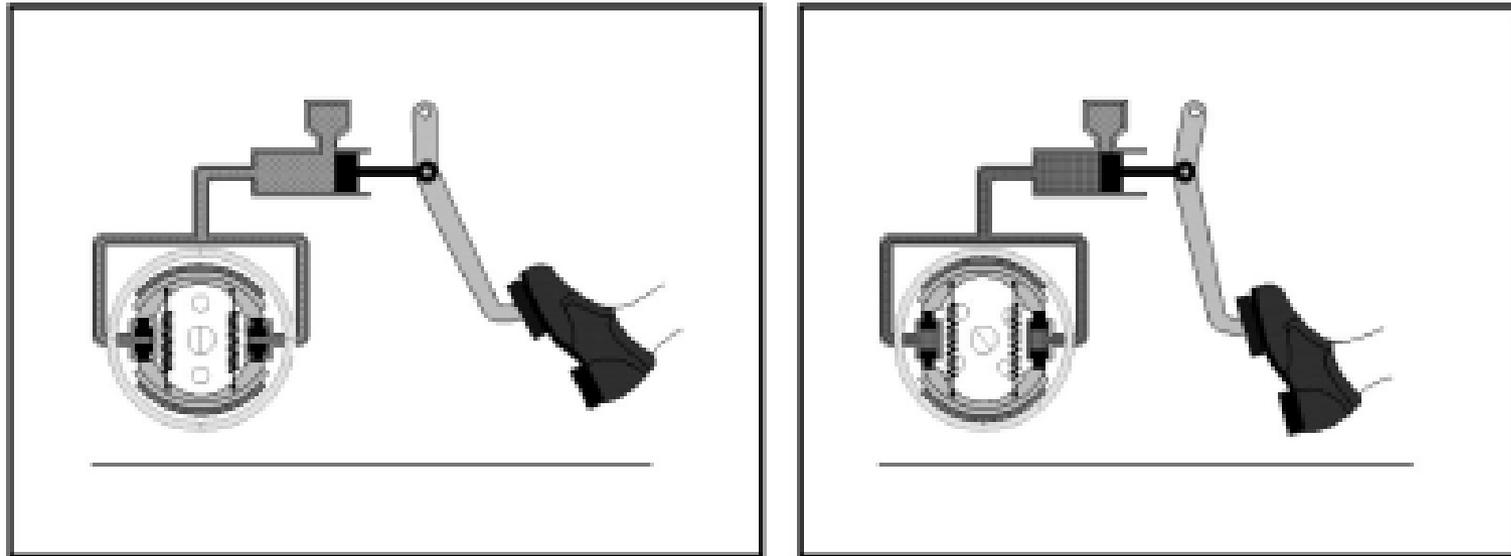
Figure 2. Paper-based lesson on how toilet tanks work. (Diagrams were in color.)

Near the shore, the ocean floor is not deep enough to allow for the full circular movement of water particles below the surface, so the shallow depth causes the circular orbits to stretch into elliptical orbits. This stretching of the orbits causes the waves to slow down because more time is needed between successive waves. At the same time, when the system of circulating particles (called a water column) hits the rising ocean floor, the crest of the wave is pushed higher above the ocean surface. The top leans forward because it is traveling slightly faster than the bottom, which has slowed down due to colliding with the rising ocean floor. Thus, the shallow depth causes higher crests because the system of circulating water particles (or water column) is pushed upward and is leaning forward. The result is slower, higher-cresting waves.



As the crest of a wave rises and tilts forward, a point is reached when its height exceeds its vertical stability and the wave falls into a breaker--seen as white foam--which crashes towards the beach.

Figure 3. Section of paper-based lesson on how ocean waves form.



When the driver steps on the car's brake pedal, a piston moves forward inside the master cylinder. The piston forces brake fluid out of the master cylinder and through the tubes to the wheel cylinders. In the wheel cylinders, the increase in fluid pressure makes a smaller set of pistons move. These smaller pistons activate the brake shoes. When the brake shoes press against the drum, both the drum and the wheel stop or slow down.

*Figure 4. Paper-based lesson on how brakes work. (Diagrams were in color.)*

## Ergebnis:

- Die Grafik & Text-Gruppe zeigte in den Nachtests bessere Leistungen als die Animations-Gruppe.
- Ursache: Die Grafiken und Texte regten die Lernenden stärker zur aktiven Wissenskonstruktion an.

## Wie lässt sich der Erwerb intelligenten Wissens fördern?

- (1) Die Vorstellungen der Lernenden kennen und nutzen
- (2) Kognitiv aktivierende Phänomene als Einstieg verwenden
- (3) Erfinden mit kontrastierenden Fällen
- (4) Arbeit am Begriffswissen mit Texten und Grafiken
- (5) Nutzung geistiger Repräsentationswerkzeuge
- (6) Aufträge für Selbsterklärungen geben
- (7) Holistische Konfrontation von Modellen
- (8) Metakognitive Fragen stellen

**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

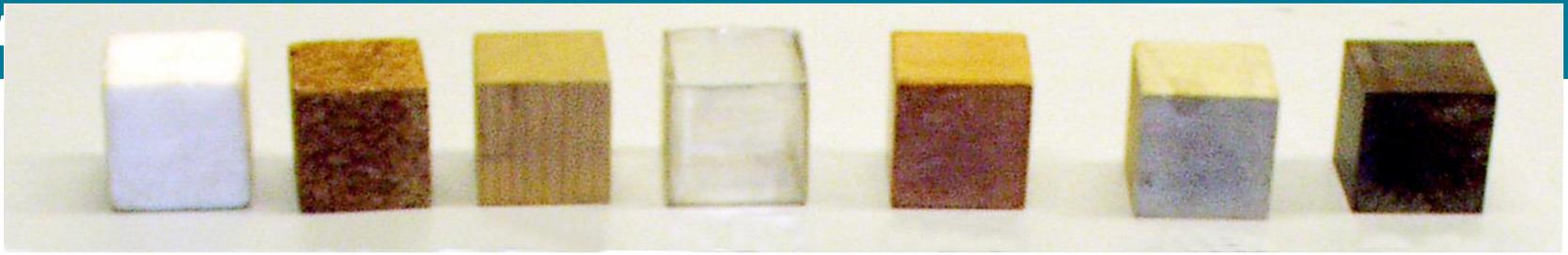
**Prozent korrekte Lösung bei deutschen Abiturienten:**

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

## Die Balkenwaage als Repräsentationswerkzeug

- Hardy, I., Schneider, M., Jonen, A., Stern, E., & Möller, K. (2005). Fostering Diagrammatic Reasoning in Science Education. *Swiss Journal of Psychology*, 64 (3), 207 – 217.

- **Versuchspersonen:** 100 Drittklässler (Durchschnittsalter: 8 Jahre)
- Schwierigkeit der Schüler mit dem Konzept der Dichte
- Volumen und Masse werden von ihnen noch nicht als zwei verschiedene Eigenschaften berücksichtigt
- **Hypothese:** Die Balkenwaage unterstützt als Repräsentationswerkzeug den Wissenstransfer im Umgang mit linearen Graphen, weil sie den Schülern hilft, verschiedene physikalische Größen wie Masse und Volumen unabhängig voneinander zu repräsentieren.



Styropor

Kork

Holz

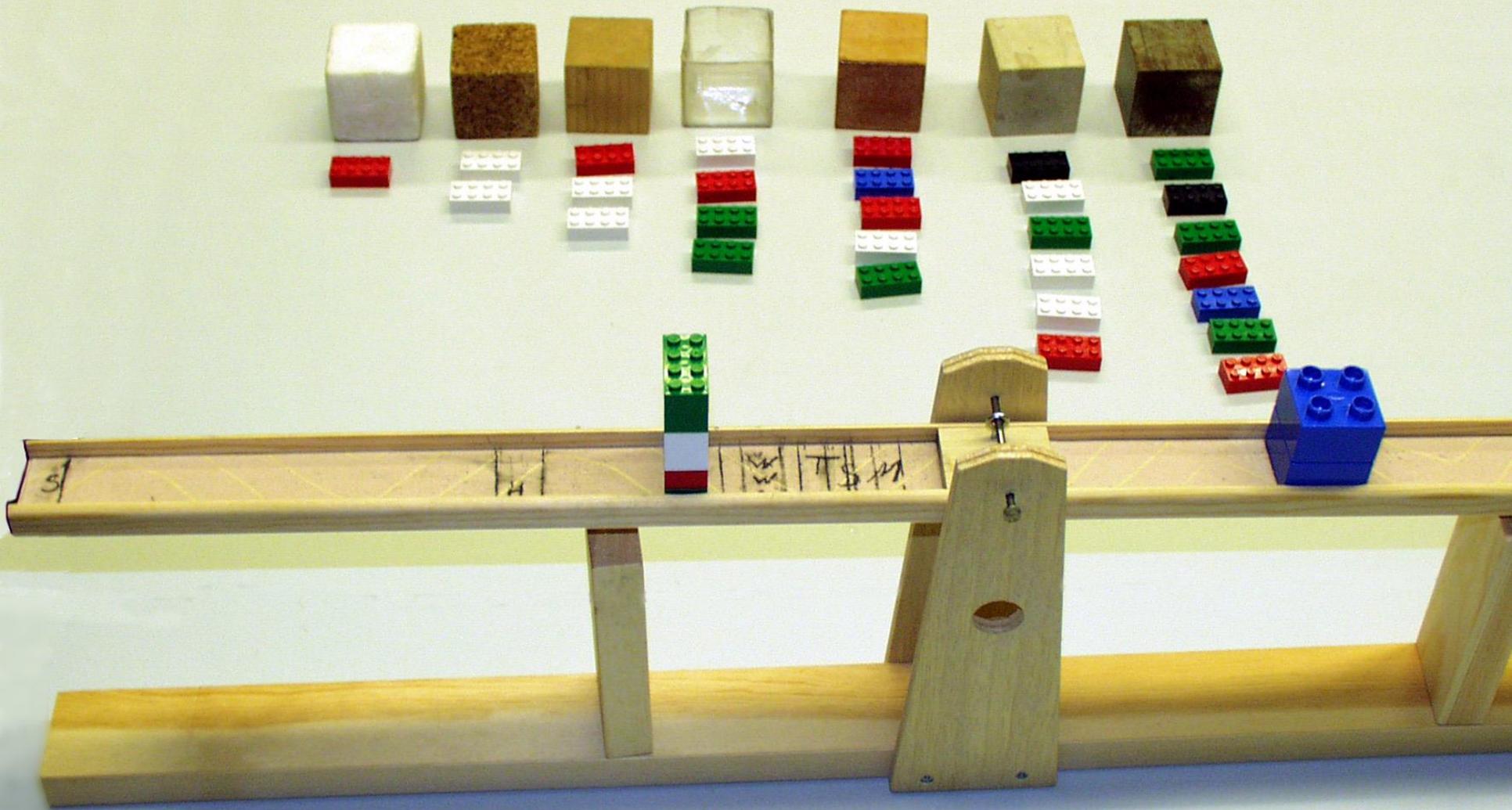
Wasser

Ton

Stein

Eisen

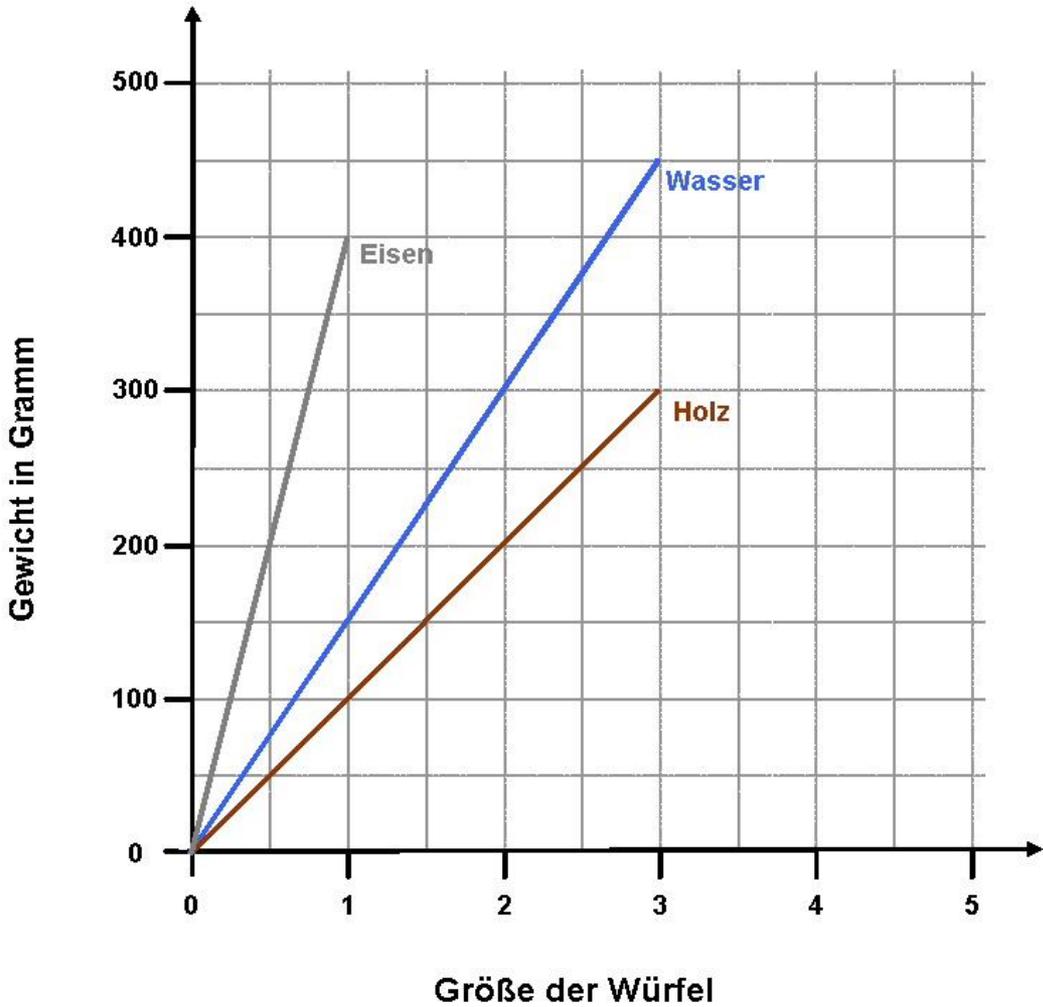






(Geheimmaterial: Größe 2, Gewicht 400)

Wird das Geheimmaterial sinken oder schwimmen?



# Die Unterstützung von Transfer durch lineare Graphen

- Stern, E., Aprea, C., & Ebner, H. G. (2003). Improving cross-content transfer in text processing by means of active graphical representation. *Learning and Instruction*, 13, 191 – 203.

# Die Unterstützung von Transfer durch lineare Graphen

- **Fragestellung:** Wie lässt sich der Wissenstransfer zwischen zwei verschiedenen Inhaltsbereichen mithilfe linearer Graphen unterstützen?
- **Vermutung:** Das aktive Konstruieren linearer Graphen hat eine stärkere Wirkung auf den Wissenstransfer als das passive Lesen. Denn durch das Konstruieren wird die Aufmerksamkeit noch stärker auf die wesentlichen Merkmale der Graphen (Möglichkeiten & Einschränkungen) gerichtet – und es fällt daher leichter, sie als «reasoning tool» auf neue Situationen zu übertragen.

## Die Unterstützung von Transfer durch lineare Graphen

- **Greeno et al. (1993):** knowledge transfer from one content area to another occurs when the common affordances and constraints of using mental tools to construct mental models are recognized
- active diagrammatic representation may direct particular attention to the affordances and constraints of spatial representations in mapping space onto certain kinds of non-spatial concepts and situations

# Die Unterstützung von Transfer durch lineare Graphen

- 281 Teilnehmer
- drei Lernumgebungen:
  - different-area / passive-graph condition
  - different-area / active-graph condition
  - same-area / no-graph condition

# Die Unterstützung von Transfer durch lineare Graphen

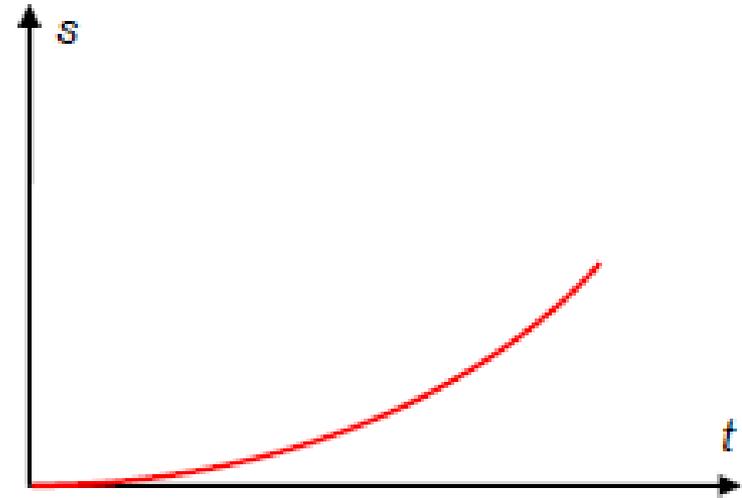
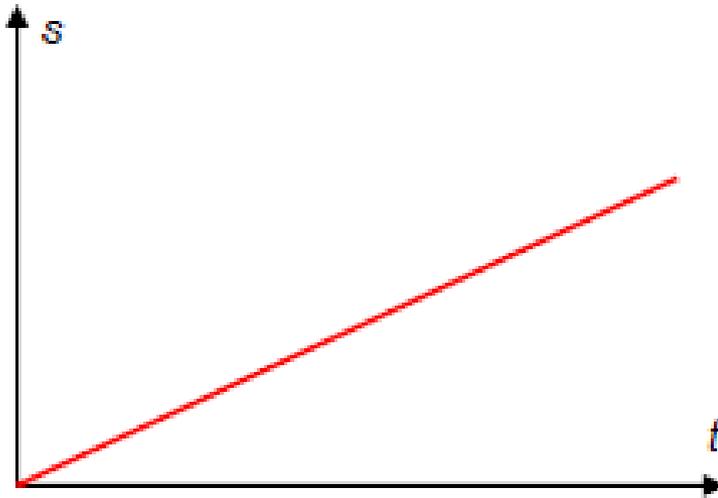


Fig. 1. Linear graphs depicting decision-making in stockkeeping (left) and break-even analyses (right).

Thema der Lernsituation

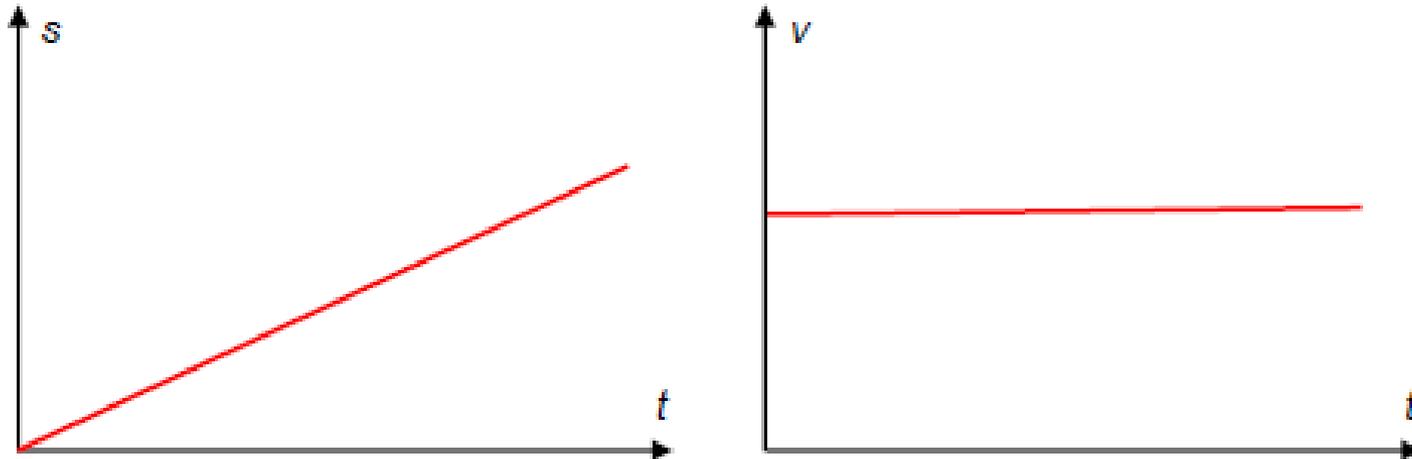
Thema der Transfersituation

1. Welches der beiden Diagramme beschreibt eine Geschwindigkeitszunahme?



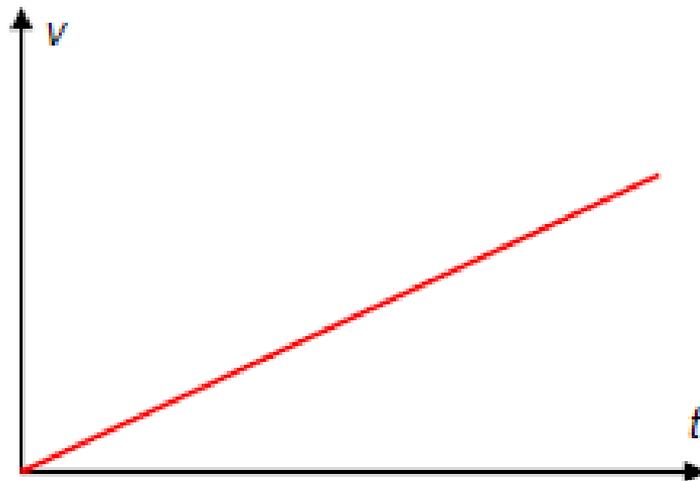
Gib eine Begründung, die dir einleuchtet!

2. Welche Informationen lassen sich aus den beiden folgenden Diagrammen herauslesen?



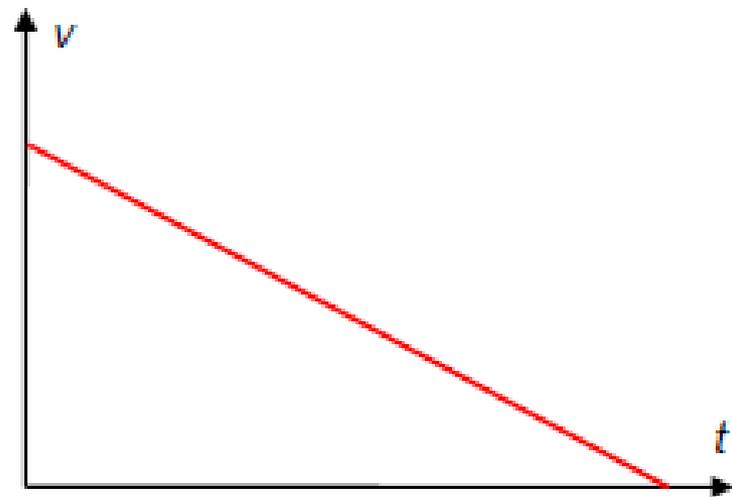
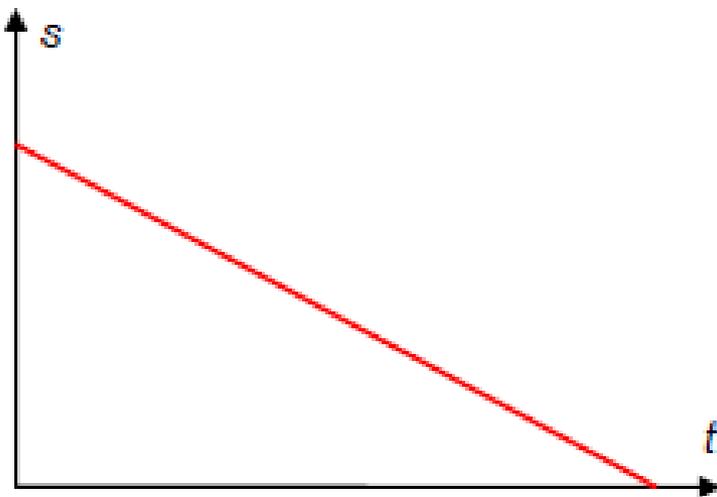
Gib auch hier jeweils eine einleuchtende Erklärung.

3. Welche Informationen sind jeweils in diesen beiden Diagrammen enthalten?



Erkläre auch jeweils, wie die Information aus dem jeweiligen Diagramm abgelesen werden muss!

4. Welche Bewegung wird jeweils durch diese beiden Graphen beschrieben?



Überlege dir auch gut, worin der Unterschied der beiden Bewegungen besteht!

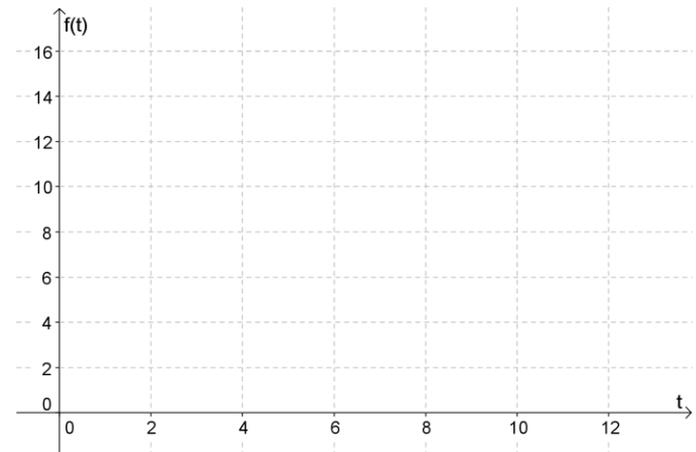
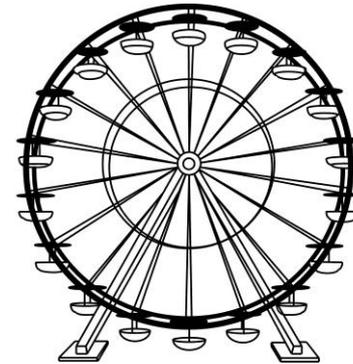
# Einstieg Schwingungen und periodische Funktionen

Riesenrad:

An einem Jahrmarkt besteigt Michael ein Riesenrad mit einem Radius von 8 Metern, das alle 4 Minuten eine volle Umdrehung vollführt. Das Riesenrad startet zur Zeit  $t=0$  mit Michael in der untersten Kabine, die den Boden gerade noch berührt.

Wir definieren  $f(t)$  als Funktion, die der Zeit  $t$  (in Minuten) Michaels Höhe über dem Boden zuordnet.

Skizzieren Sie den Graphen der Funktion  $f(t)$  in das abgebildete Koordinatensystem von Hand. Gewisse Punkte können exakt eingetragen werden. Der Verlauf der Kurve zwischen diesen Punkten soll nur ungefähr, aber realistisch skizziert werden.

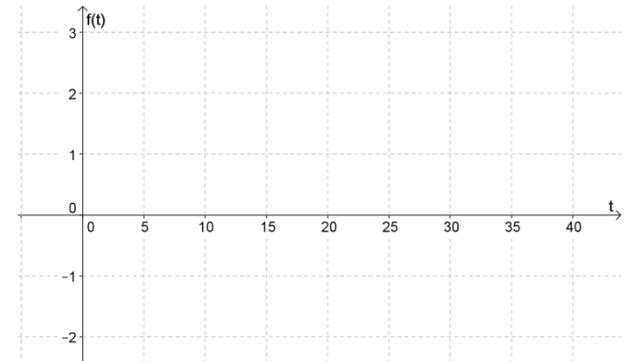
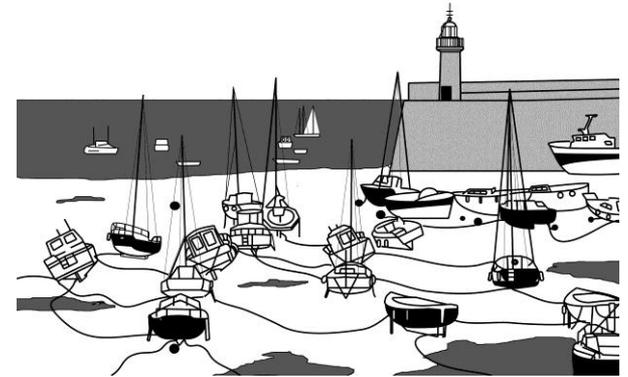


Ebbe und Flut:

An einem Hafen werden die Gezeiten (Ebbe und Flut) gemessen. Dabei werden folgende Beobachtungen gemacht:

- Zwei Höchststände der Flut liegen 12 Stunden auseinander.
- Die Wasserstände von Ebbe und Flut unterscheiden sich um 4 Meter.

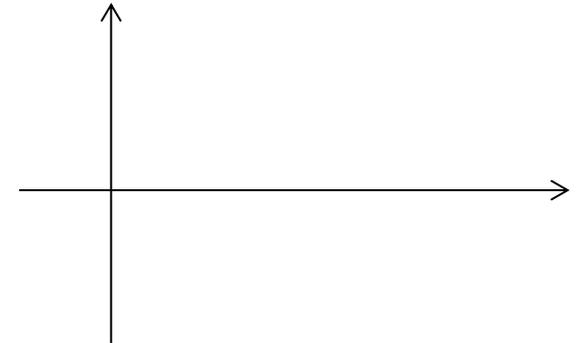
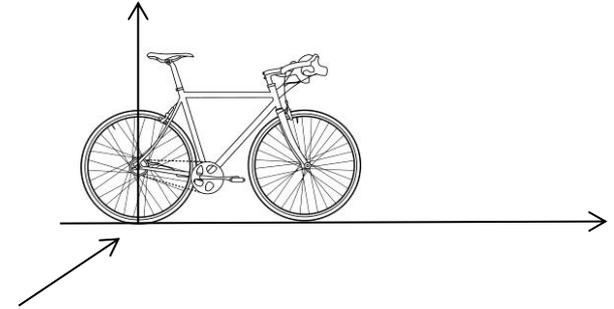
Wir definieren  $f(t)$  als Funktion, die der Zeit  $t$  (in Stunden) die Höhe über dem durchschnittlichen Wasserstand („Höhe 0“) zuordnet. Zudem gilt  $f(0)=0$ . Skizzieren Sie den Graphen der Funktion  $f(t)$  im abgebildeten Koordinatensystem von Hand. Gewisse Punkte können exakt eingetragen werden. Der Verlauf der Kurve zwischen diesen Punkten soll nur ungefähr, aber realistisch skizziert werden.



## Fahrrad:

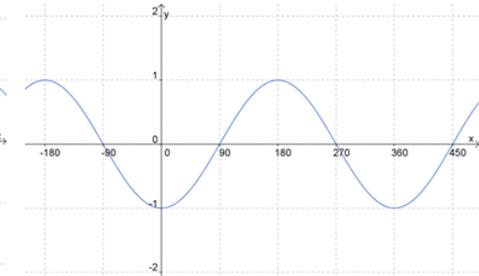
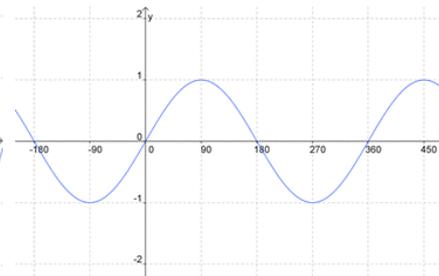
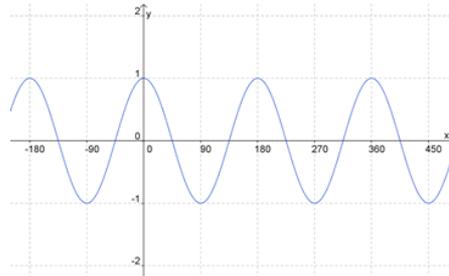
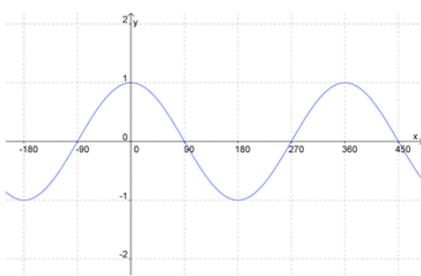
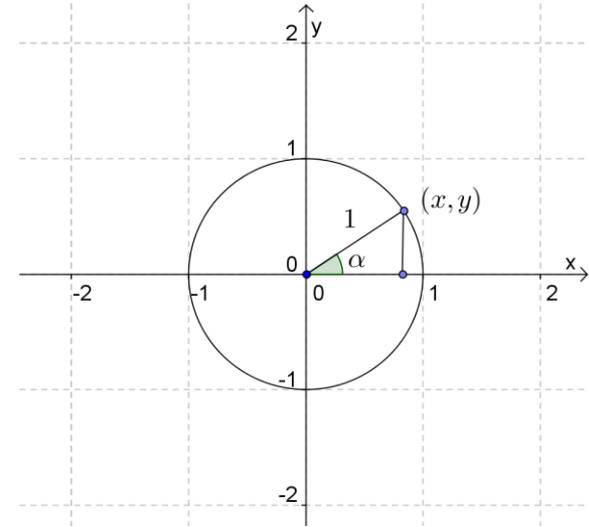
Stellen Sie sich vor, Sie befestigen am unteren Ende einer Felge eines Fahrrads mit Radius 30 cm ein Stück Kreide und fahren entlang einer grauen Wand, die ein Koordinatensystem enthält. Daraus ergibt sich an der Wand eine Kurve, bestehend aus lauter Punkten  $(x/y)$ , wobei  $y=f(x)$ . Kreide

Skizzieren Sie den Graphen der Funktion  $f(x)$  im abgebildeten Koordinatensystem von Hand. Achten Sie auf eine präzise Beschriftung der Achsen. Gewisse Punkte können exakt eingetragen werden. Der Verlauf der Kurve zwischen diesen Punkten soll nur ungefähr, aber realistisch skizziert werden.



# Einstieg Sinus und Cosinus

Michael besteigt schon wieder ein Riesenrad. Wir nehmen jetzt aber an, dass der Radius des Riesenrades 1 sei. Nun legen wir ein Koordinatensystem in das Riesenrad so, dass der Mittelpunkt des Kreises mit Radius 1 im Origo liegt, also die Koordinaten  $(0/0)$  enthält. Ausserdem definieren wir den Winkel zwischen der Horizontalen (in Richtung der positiven  $x$ -Achse) und der Verbindung zwischen dem Mittelpunkt  $(0/0)$  und Michaels Kabine  $(x/y)$  als Winkel  $\alpha$ . Das bedeutet, wir können die Koordinaten  $(x/y)$  als Funktionen  $x(\alpha)$  und  $y(\alpha)$  definieren. Ordnen Sie  $x(\alpha)$  und  $y(\alpha)$  den jeweiligen Graphen zu und begründen Sie Ihre Antwort. Zwei der vier abgebildeten Graphen sind auf andere Art und Weise entstanden.



## Einstieg Umkehrfunktionen

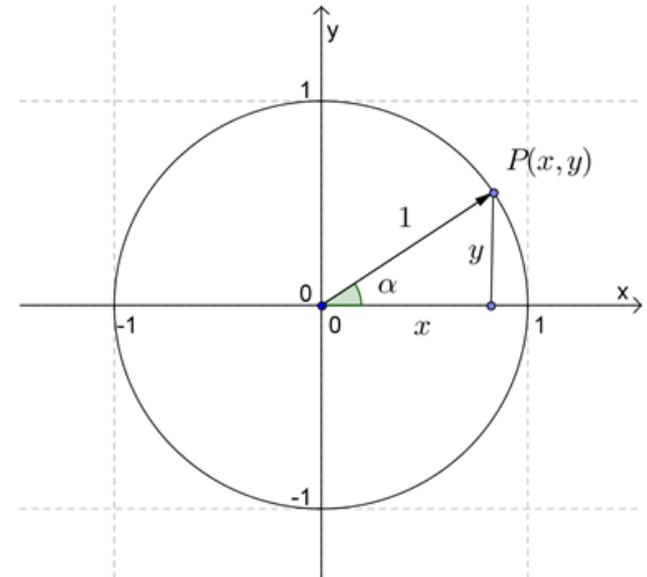
Anna und Barbara betrachten den Einheitskreis rechts und fragen sich, ob es auch möglich sei, aus einem gegebenen  $x = \cos(\alpha)$  - bzw.  $y = \sin(\alpha)$  - Wert, den zugehörigen Winkel  $\alpha$  zuzuordnen bzw. zu berechnen.

Dabei werden die folgenden Aussagen gemacht:

Anna behauptet: „Wie die folgende Skizze deutlich zeigt, kann aus einem gegebenen  $x$ - bzw.  $y$ -Wert genau ein Winkel  $\alpha$  zugeordnet werden. Somit muss für  $\cos(\alpha)$  bzw.  $\sin(\alpha)$  je eine Umkehrfunktion existieren.“

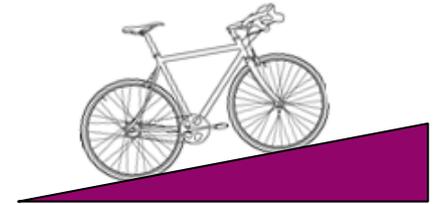
Barbara behauptet: „Es gibt mehrere Winkel  $\alpha$ , die auf denselben gegebenen  $x$ - bzw.  $y$ -Wert führen. Somit sind  $\cos(\alpha)$  und  $\sin(\alpha)$  keine umkehrbaren Funktionen.“

Wer hat Recht? Begründen Sie Ihre Entscheidung anhand des nebenstehenden Einheitskreises. Nehmen Sie Zahlenbeispiele zur Hilfe und zeichnen Sie die entsprechenden Punkte ein.



## Einstieg rechtwinklige Dreiecke

Sie fahren mit Ihrem Fahrrad eine Bergstrasse hoch. Die Bergstrasse ist mit einer konstanten Steigung geneigt, der Neigungswinkel der Strasse entspricht  $\alpha=6^\circ$  (Abbildung rechts). Wir nehmen an, Sie fahren genau 1 km entlang der Bergstrasse hoch (Hypotenuse).



Wie viele Höhenmeter haben Sie überwunden und wie viele Kilometer misst die horizontale Strecke im rechtwinkligen Dreieck, also in diesem Fall die zum Winkel anliegende Kathete (sogenannte Ankathete)? Berechnen Sie zudem die Steigung der Bergstrasse.

Wir nehmen nun an, die Bergstrasse (Hypotenuse) sei 2, 3, 4, ... km lang. Wie viele Höhenmeter werden nun jeweils überwunden? Wie viele Kilometer misst nun die zum Winkel  $\alpha=6^\circ$  anliegende Kathete?

Was fällt Ihnen auf? Stellen Sie eine Vermutung auf und begründen Sie diese. Was passiert mit der Steigung der Bergstrasse, wenn der Winkel  $\alpha=6^\circ$  bleibt?

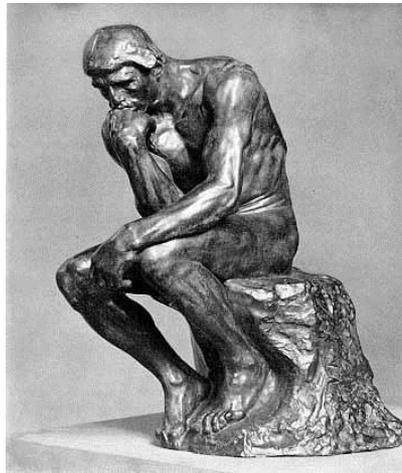
## Wie lässt sich der Erwerb intelligenten Wissens fördern?

- (1) Die Vorstellungen der Lernenden kennen und nutzen
- (2) Kognitiv aktivierende Phänomene als Einstieg verwenden
- (3) Erfinden mit kontrastierenden Fällen
- (4) Arbeit am Begriffswissen mit Texten und Grafiken
- (5) Nutzung geistiger Repräsentationswerkzeuge
- (6) Aufträge für Selbsterklärungen geben
- (7) Holistische Konfrontation von Modellen
- (8) Metakognitive Fragen stellen

Bei Selbsterklärungen handelt es sich um Erklärungen, die man für sich selber entwickelt, um sich einen Sachverhalt verständlich zu machen.

Wie erkläre ich den Unterschied zwischen Kraft und Impuls?

Selbsterklärungen sind für die **Konstruktion von Wissen** sowie für die **Integration neuer Informationen** in das bereits vorhandene Vorwissen von zentraler Bedeutung.



## **Selbsterklärungs-Effekt:**

Zwischen dem Lernerfolg und der Anzahl der spontan gebildeten Selbsterklärungen besteht ein positiver Zusammenhang.

***Je größer die Anzahl der Selbsterklärungen, desto größer der Lernerfolg.***

Dieser Effekt wird durch eine ganze Reihe von Untersuchungen belegt (Chi et al. 1989, Pirolli & Recker 1994, Nathan et al. 1994, etc.).

## Selbsterklärungen

Experimentelle Studie von Chi et al. (1994) zur Förderung des Textverstehens durch **aufgeforderte** Selbsterklärungen

**Ziel der Studie:** es soll gezeigt werden, dass das Verstehen von Texten durch aufgeforderte Selbsterklärungen gefördert und vertieft werden kann

**Teilnehmer:** 24 Schüler im achten Schuljahr  
(Durchschnittsalter: 14 Jahre)

## Selbsterklärungen

**Versuchsgruppe:** 14 Schüler wurden aufgefordert, beim Lesen eines Textes über den menschlichen Blutkreislauf nach jedem Satz eine Selbsterklärung zu bilden

**Kontrollgruppe:** 10 Schüler haben den Text zweimal gelesen, wurden aber nicht aufgefordert, Selbsterklärungen zu bilden

**Kriterien:** bei allen Schülern wurde das Wissen über den menschlichen Blutkreislauf vor und nach dem Lesen des Textes getestet

**Ergebnisse:** Die Schüler in der Versuchsgruppe hatten einen signifikant **größeren Wissenszuwachs** vom Vor- zum Nach-Test als die Schüler in der Kontrollgruppe.

Zudem förderten die Selbsterklärungen die **Vertiefung des Verständnisses**. Dies zeigte sich daran, dass die Schüler mit vielen Selbsterklärungen komplexere Fragen beantworten konnten als die Schüler mit wenigen Selbsterklärungen.

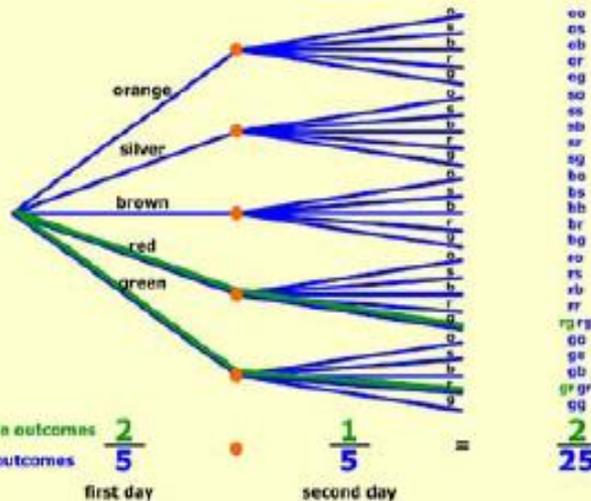
Schüler mit vielen Selbsterklärungen lernten daher mit größerem Verständnis als Schüler mit wenigen Selbsterklärungen.

# Berthold & Renkl (2010): How to Foster Active Processing of Explanations in Instructional Communication. *Educational Psychology Review*

## 7. Example Task: Mountain bike IV

You and your friend take part in a two-day mountain bike course. Each day of the course the instructor brings along 5 helmets, each one a different colour (orange, silver, brown, red, and green). The helmets are handed out randomly and given back to the instructor at the end of the day.

What is the probability that you get both a red and a green helmet during the two-day course?



The order is irrelevant. Therefore, there are 2 acceptable outcomes in the first single experiment and 1 in the second. It is with replacement. Therefore, there are 5 possible outcomes in each of the 2 single experiments. To calculate the total acceptable outcomes, the acceptable outcomes of the single experiments are multiplied, because each of the 2 first outcomes (2 helmets) can occur in combination with one of the remaining outcomes (1 helmet). Therefore, each of the two acceptable first branches of the tree diagram forks out in a further acceptable branch. The corresponding is true for the possible outcomes.

Why do you calculate the total possible outcomes by multiplying?

The probability is  $\frac{2}{25}$ .



## **Gründe für die positiven Wirkungen von Selbsterklärungen:**

- (1) Reflexion und Kontrolle der eigenen Lernfortschritte (weniger Verstehensillusionen)
- (2) gezielte Integration neuer Informationen in das bereits bestehende Vorwissen
- (3) Konstruktion bereichsspezifischer Prinzipien, die für das Problemlösen wichtig sind
- (4) gezielte Aktivierung korrekter und Unterdrückung inkorrektter Lösungsstrategien

## Wo ist die Reaktionskraft?

### Beispiel 1:

Ein Holzklotz befindet sich über der Erdoberfläche im freien Fall und wird durch die Gravitation nach unten beschleunigt. Wo ist hier die Reaktionskraft?



Bewegungsrichtung

**Wie würden Sie jemandem, der glaubt, in diesem Fall gäbe es keine Reaktionskraft, erklären, warum diese Ansicht falsch ist?**

Abbildung 1: ein Holzklotz im freien Fall

Stellen Sie Ihre Vermutung dar und begründen Sie diese:

## Wie lässt sich der Erwerb intelligenten Wissens fördern?

- (1) Die Vorstellungen der Lernenden kennen und nutzen
- (2) Kognitiv aktivierende Phänomene als Einstieg verwenden
- (3) Erfinden mit kontrastierenden Fällen
- (4) Arbeit am Begriffswissen mit Texten und Grafiken
- (5) Nutzung geistiger Repräsentationswerkzeuge
- (6) Aufträge für Selbsterklärungen geben
- (7) **Holistische Konfrontation von Modellen**
- (8) Metakognitive Fragen stellen

## Holistische Konfrontation von Modellen

Gadgil, S., Nokes-Malach, T. J., & Chi, M. (2012).  
Effectiveness of holistic mental model confrontation in  
driving conceptual change. *Learning and Instruction*,  
22, 47 – 61.

## Holistische Konfrontation von Modellen

**Fragestellung:** Mit welcher Lernform lässt sich das Verständnis von komplexen Modellen besser fördern – mit Selbsterklärungs-Aufträgen (A) oder mit Aufträgen zum Vergleich von Modellen (B)?

**Hypothese:** (B) eignet sich besser, um das Verständnis von Beziehungen in komplexen Modellen zu vertiefen.

**Versuchsgruppe:** Vergleich eines Laien-Modells (inkorrekt) mit einem Experten-Modell (korrekt)

**Kontrollgruppe:** Selbsterklärungen zum Experten-Modell

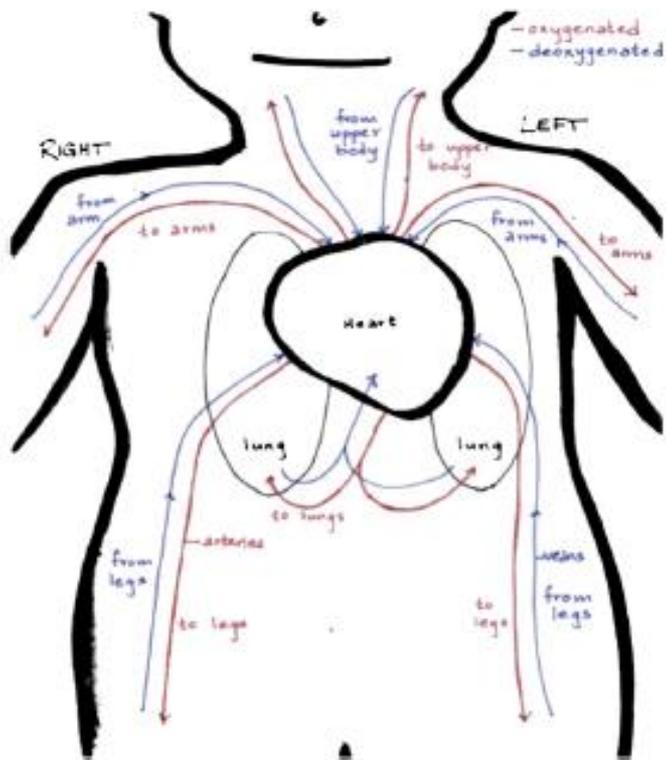
## **Holistische Konfrontation von Modellen**

**Versuchspersonen:** 84 Studierende zwischen 18 – 29  
Jahren

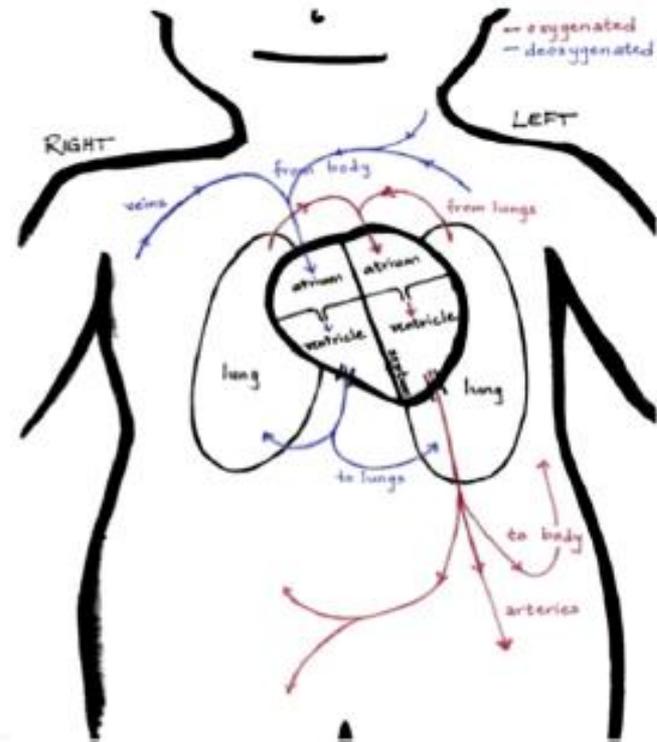
**Altersdurchschnitt:** 21,2 Jahre

# Materialien der Versuchsgruppe

Appendix B. Single-loop model (Flawed)



Appendix C. Double-loop model (Correct)



# Aufträge der Kontrollgruppe

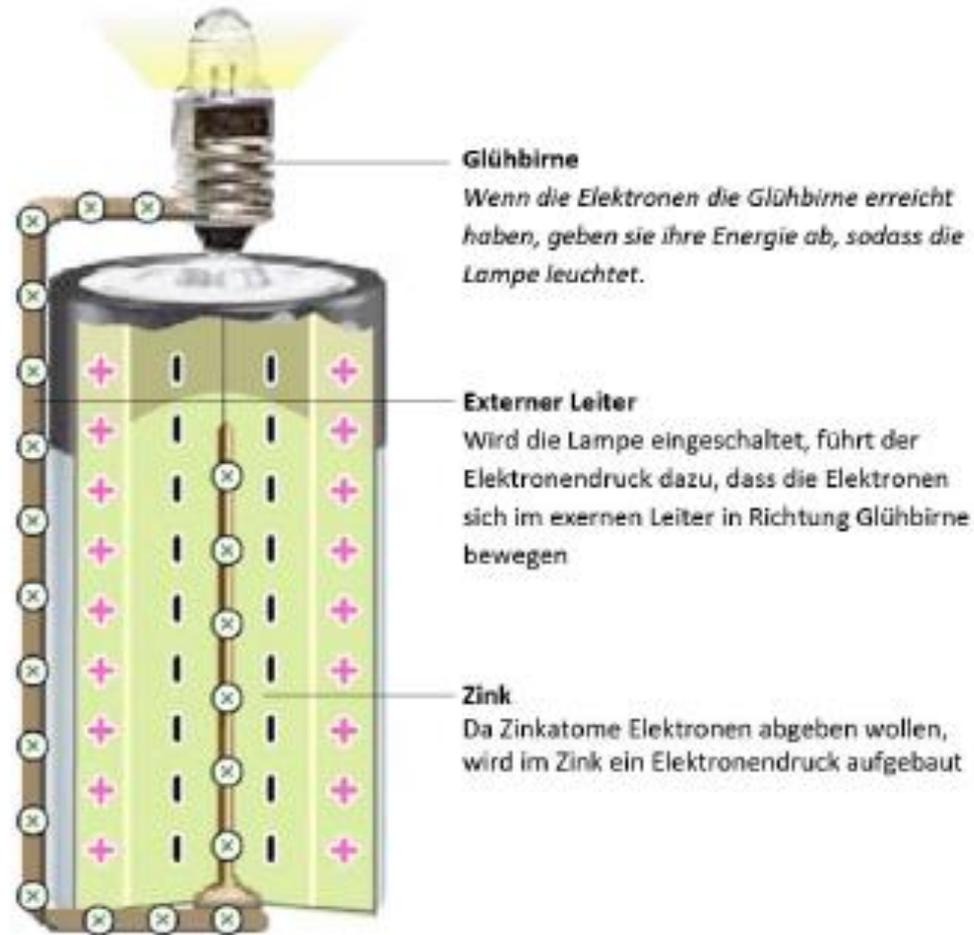
## Appendix A. Mental model questions

1. Describe in a few lines the path of the blood in the circulatory system.
2. What types of blood vessels are present in the circulatory system and what are their functions?
3. Describe the structure of the heart in a few lines and explain the functions of each part.
4. What are important components of the circulatory system and what role do they play in circulation?
5. What are the primary and secondary functions of blood? 6. What is the main function of the heart?

## Holistische Konfrontation von Modellen

**Ergebnis:** 90 % der Personen aus der Versuchsgruppe konnten den menschlichen Blutkreislauf korrekt beschreiben, aber nur 64 % der Personen aus der Kontrollgruppe.

## Laienmodell



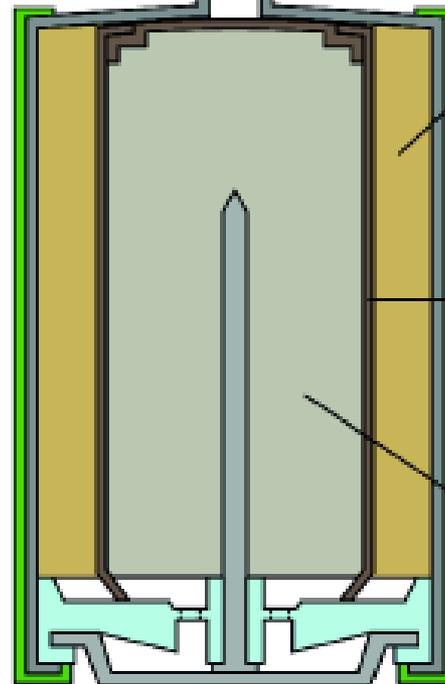
## Expertenmodell

Richtung des Elektronenflusses



Metallbecher

+ - Pol



- Pol

Mangandioxid  $MnO_2$   
 Mangan-Ionen ziehen Elektronen so stark an, dass sie einen Elektronensog auf den Leiter und - bei geschlossenem Stromkreis - auf Zink ausüben

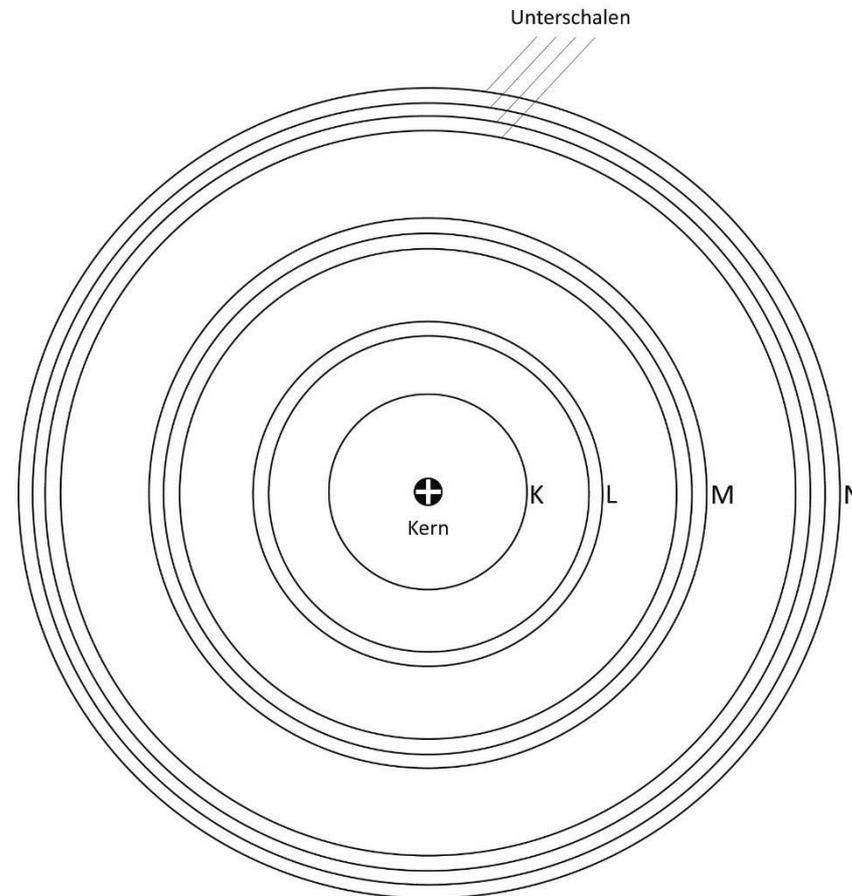
Zellstoff mit KOH getränkt

- Der Zellstoff trennt  $MnO_2$  und Zink, damit die Elektronen über den externen Leiter wandern müssen.
- Die  $OH^-$ -Ionen ermöglichen einen Ausgleich der Ladung, die durch die Elektronenwanderung entsteht..

Zinkpulver in Gel

Zinkatome ziehen ihre Valenzelektronen nur sehr schwach an. Bei genügend starkem Elektronensog verlieren sie sie, sodass

# Schalenmodell

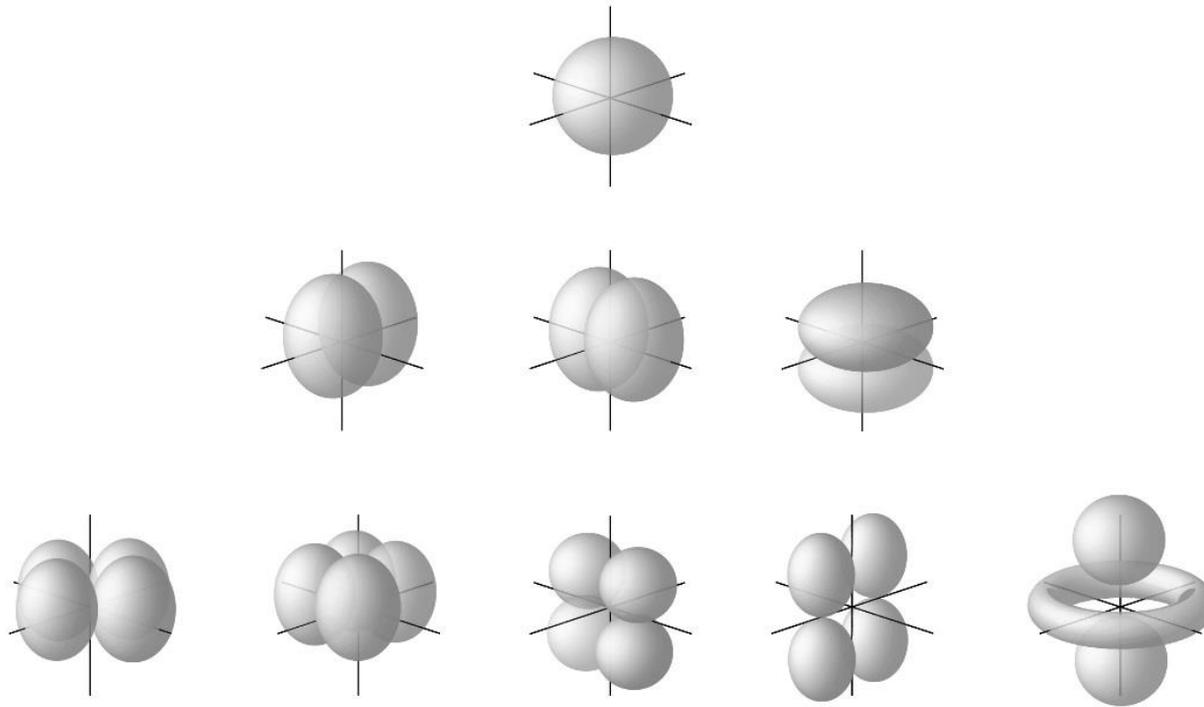


# Schalenmodell

## Merkmale

- 1. Postulat von N. Bohr: Elektronen in Atomen können sich nur auf bestimmten Bahnen um den Atomkern bewegen.
- Die Bahnen der Elektronen weisen genau definierte Radien auf.
- 2. Postulat von N. Bohr: Elektronen in Atomen können ihren Zustand nur so ändern, dass sie von einer Bahn zu einer anderen wechseln.

# Orbitalmodell



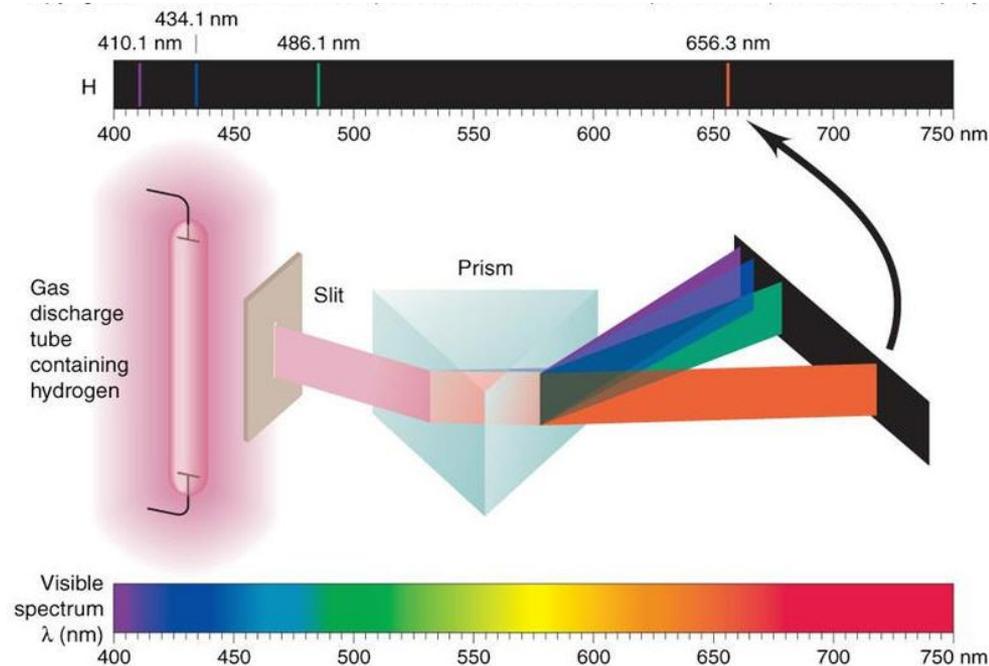
# Orbitalmodell

## Merkmale

- Elektronen werden durch eine Wellengleichung beschrieben.
- Die Elektronen in einem Atom sind durch die Anziehung zum Kern im Atom eingesperrt. Eingesperrte Wellen können nur ganz bestimmte Schwingungszustände einnehmen.
- Aus der Wellengleichung (Schrödingergleichung) kann die Wahrscheinlichkeit berechnet werden, mit der sich ein Elektron an einem bestimmten Ort aufhält (Aufenthaltswahrscheinlichkeit).
- Teile des Raumes, in denen sich ein Elektron mit hoher Wahrscheinlichkeit aufhält, werden als *Orbitale* bezeichnet.

# Frage

Wird das sprunghafte Verhalten der Elektronen in Atomen (Schalenstruktur der Elektronenhülle) durch das Atommodell korrekt beschrieben?  
Begründen Sie Ihre Aussage.



# Antwort

## Schalenmodell

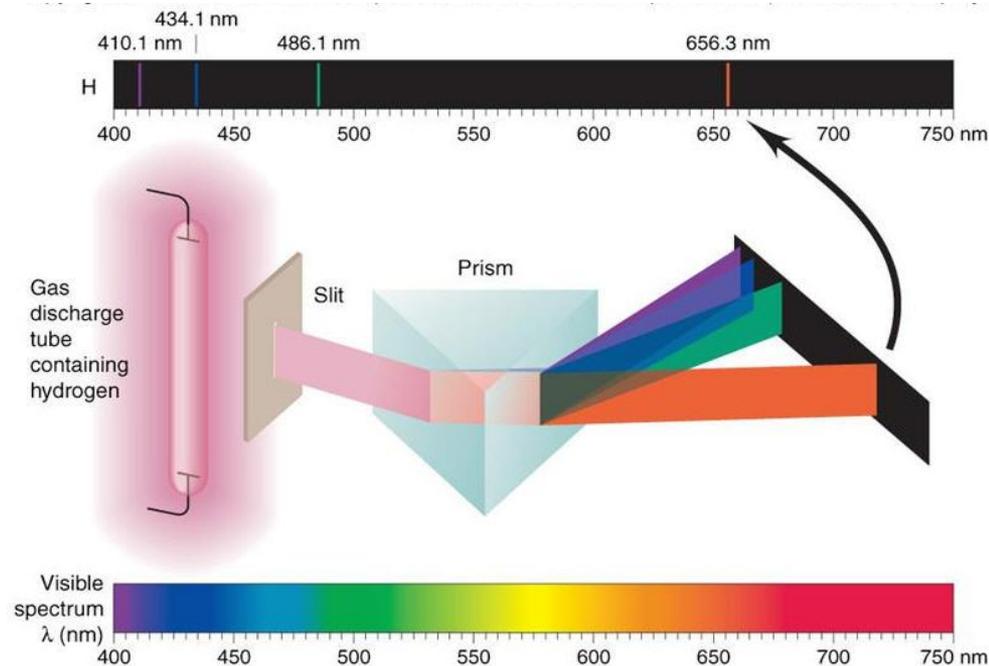
Ja, die Elektronen können sich nur auf bestimmten Bahnen bewegen und können ihren Zustand somit nur sprunghaft ändern. Bei Zufuhr von Energie (Wärmeenergie, UV-Strahlung, etc.) wechseln die Elektronen auf eine höhere Bahn.

## Orbitalmodell

Ja, die Elektronen werden als dreidimensionale stehende Wellen beschrieben, die nur bestimmte Schwingungszustände einnehmen und ihren Zustand somit nur sprunghaft ändern können. Bei Zufuhr von Energie (Wärmeenergie, UV-Strahlung, etc.) wechseln die Elektronen zu einem energiereicheren Schwingungszustand.

# Frage

Wird das sprunghafte Verhalten der Elektronen in Atomen (Schalenstruktur der Elektronenhülle) durch das Atommodell **ursächlich** erklärt? Begründen Sie Ihre Aussage.



# Antwort

## Schalenmodell

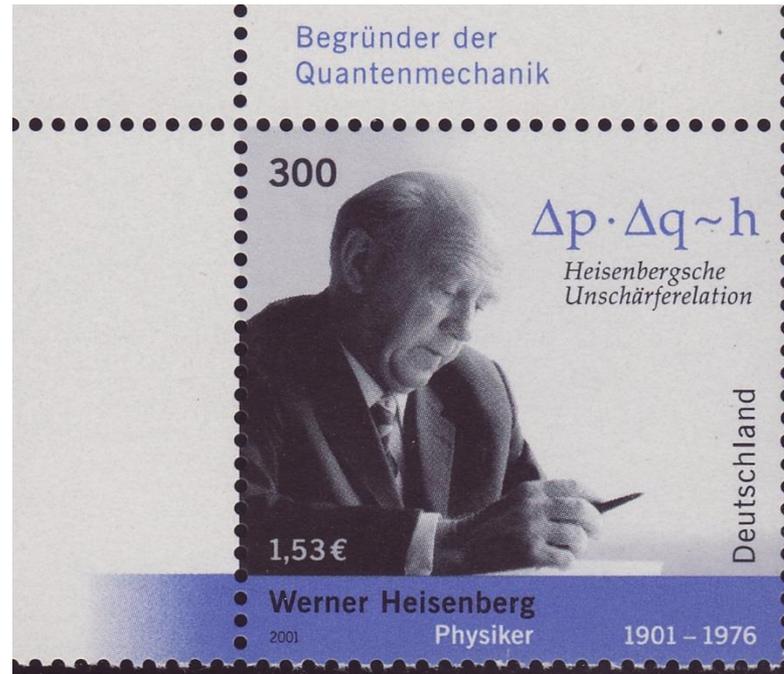
**Nein**, im Bohr'schen Schalenmodell wird keine Ursache für das sprunghafte Verhalten der Elektronen in Atomen angegeben. Dieses Verhalten wird lediglich **postuliert**, um die Experimente zu Ionisierungsenergien und Flammenfarben erklären zu können.

## Orbitalmodell

**Ja**, das sprunghafte Verhalten der Elektronen folgt direkt aus dem Wellencharakter der Elektronen. Eingespernte Wellen können nur bestimmte Schwingungszustände einnehmen.

# Frage

Steht das Atommodell im Einklang mit der Heisenberg'schen Unschärfebeziehung? Begründen Sie Ihre Aussage.



# Antwort

## Schalenmodell

**Nein**, das Schalenmodell steht im direkten Widerspruch zu der Unschärfebeziehung. Würde sich das Elektron auf einer definierten Umlaufbahn um den Kern bewegen, so könnte man seine Geschwindigkeit bestimmen und damit auch den Ort ausrechnen.

## Orbitalmodell

**Ja**, aus der Schrödingergleichung kann lediglich die Aufenthaltswahrscheinlichkeit, nicht aber der genaue Ort und die genaue Geschwindigkeit berechnet werden.

## Wie lässt sich der Erwerb intelligenten Wissens fördern?

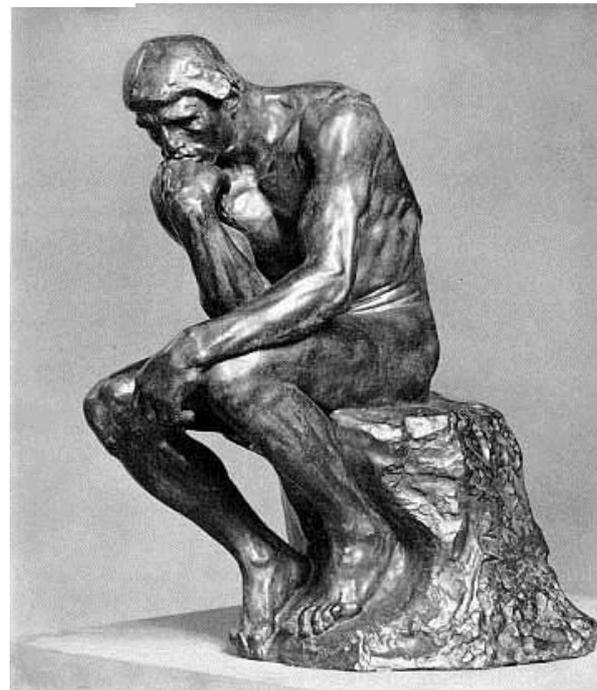
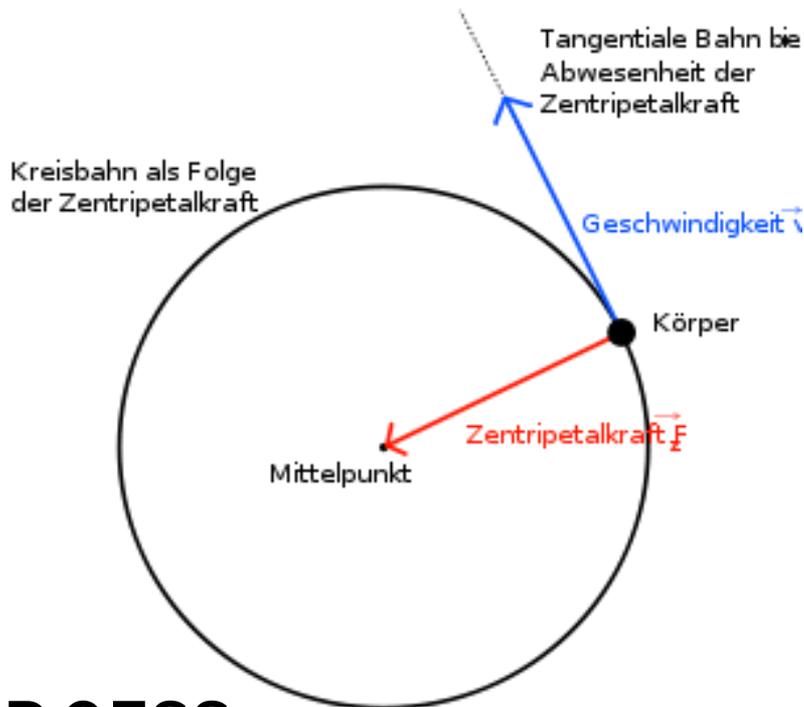
- (1) Die Vorstellungen der Lernenden kennen und nutzen
- (2) Kognitiv aktivierende Phänomene als Einstieg verwenden
- (3) Erfinden mit kontrastierenden Fällen
- (4) Arbeit am Begriffswissen mit Texten und Grafiken
- (5) Nutzung geistiger Repräsentationswerkzeuge
- (6) Aufträge für Selbsterklärungen geben
- (7) Holistische Konfrontation von Modellen
- (8) Metakognitive Fragen stellen

## **Metakognitive Fragen**

**Anleitung zur Reflexion über die eigenen Lernprozesse:**

- 1) Kontrolle der eigenen Lernfortschritte**
- 2) selbständiges Aufdecken von Verstehensillusionen**
- 3) gezielte Gestaltung der eigenen Wissensorganisation**

„Ich habe noch nicht verstanden, warum die Zentrifugalkraft eine „Scheinkraft“ sein soll.“



## Metakognitive Fragen:

- **Verständnis (positiv):** „Welche zentralen Inhalte haben Sie richtig gut verstanden? Erklären Sie die betreffenden Begriffe und Zusammenhänge.“
- **Verständnis (negativ):** „Welche zentralen Inhalte haben Sie noch nicht verstanden? Und welche Möglichkeiten gibt es, die Ihnen helfen könnten, diese Punkte besser zu verstehen? / Was könnten Sie tun, um diese Verständnisschwierigkeiten zu beseitigen?“
- **Vertiefung:** „Welche Inhalte haben Sie besonders interessiert, und worüber möchten Sie noch mehr erfahren?“

## Metakognitives Training

Experimentelle Studie von Mevarech & Kramarski (2003)

### **Ziel der Studie:**

- (1) Untersuchung der Wirkungen eines metakognitiven Trainings und des Lernens mit ausgearbeiteten Beispielen auf das mathematische Denken und die mathematischen Leistungen (Algebra)
- (2) Untersuchung der langfristigen Wirkungen beider Trainings auf die Mathematikleistungen

## Metakognitives Training

**Teilnehmer:** 122 Schüler im achten Schuljahr (Durchschnittsalter: 14 Jahre)

**Versuchsgruppe:** metakognitives Training (IMPROVE)

**Kontrollgruppe:** Lernen mit ausgearbeiteten Beispielen

In beiden Gruppen arbeiteten die Schüler in Kleingruppen von je vier Personen zusammen.

**Tests:** Vortest, unmittelbarer Nachtest, sowie ein Nachtest ein Jahr später; Kriterien: sprachliche Erklärungen, mathematische Repräsentationen und Mathematikleistungen

## Metakognitives Training

### **Kontrollgruppe:**

Ausgearbeitete Beispiele beschreiben alle Schritte, die zur Problemlösung erforderlich sind, und erklären, in welcher Reihenfolge sie ausgeführt werden müssen.

Im Anschluss an die Erläuterung der ausgearbeiteten Beispiele bearbeiten die Schüler üblicherweise mehrere Aufgaben des gleichen Typs, um dadurch ihr Wissen zu festigen.

## Versuchsgruppe:

Die Schüler wurden trainiert, mit den folgenden Arten von Fragen selbständig ihre Aufmerksamkeit auf die eigenen Lernprozesse zu richten:

**1) Verständnisfragen:** Habe ich verstanden, worum es bei der Aufgabe geht?

**2) Verknüpfungsfragen:** In welchen Hinsichten ist die vorliegende Aufgabe anderen Aufgaben ähnlich, die ich bereits bearbeitet habe – und in welchen Hinsichten unterscheidet sie sich von ihnen?

## Metakognitives Training

**3) Strategief Fragen:** Welches ist die beste Strategie zur Lösung dieser Aufgabe – und aus welchen Gründen ist sie die beste Strategie?

**4) Reflexionsfragen:** Welche Bedeutung besitzt diese Aufgabe in einem größeren Zusammenhang?

## Metakognitives Training

**Ergebnisse:** Die Schüler aus der Versuchsgruppe zeigten in beiden Nachtests deutlich größere Lernfortschritte als die Schüler aus der Kontrollgruppe.

Die Unterschiede in den Lernfortschritten zeigten sich sowohl bei den Mathematikleistungen als auch bei der Fähigkeit, die eigenen Überlegungen mündlich und schriftlich zu erklären.

## Metakognitives Training

Experimentelle Studie von Mevarech & Fridkin (2006)

Untersuchung, wie sich metakognitives Training auf das mathematische Wissen, das mathematische Denken sowie auf die Metakognition bei angehenden Studenten auswirkt

## Metakognitives Training

**Teilnehmer:** 81 angehende Studenten, die an einem Vorbereitungskurs über Mathematik teilnehmen  
(Durchschnitts-alter: 22 Jahre)

**Versuchsgruppe:** metakognitives Training (IMPROVE)

**Kontrollgruppe:** normaler Unterricht ohne metakognitives Training

In beiden Gruppen wurde einzeln gearbeitet.

**Tests:** Vor- und Nachtest; Kriterien: Metakognition und Mathematikleistungen (mathematischen Denken u. Wissen)

## Metakognitives Training

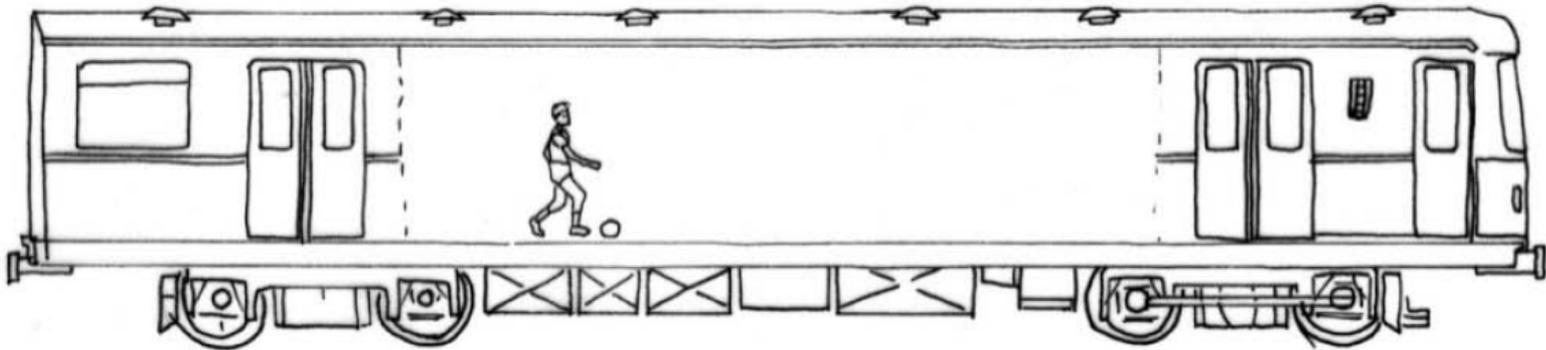
**Ergebnisse:** Die Personen aus der Versuchsgruppe zeigten deutlich größere Lernfortschritte sowohl beim mathematischen Wissen als auch beim mathematischen Denken als die Personen aus der Kontrollgruppe.

Zudem zeigten sie signifikant höhere Leistungen in den folgenden Bereichen der Metakognition: (a) allgemeines Wissen über Kognition, (b) kognitive Selbstkontrolle, (c) bereichsspezifisches metakognitives Wissen.

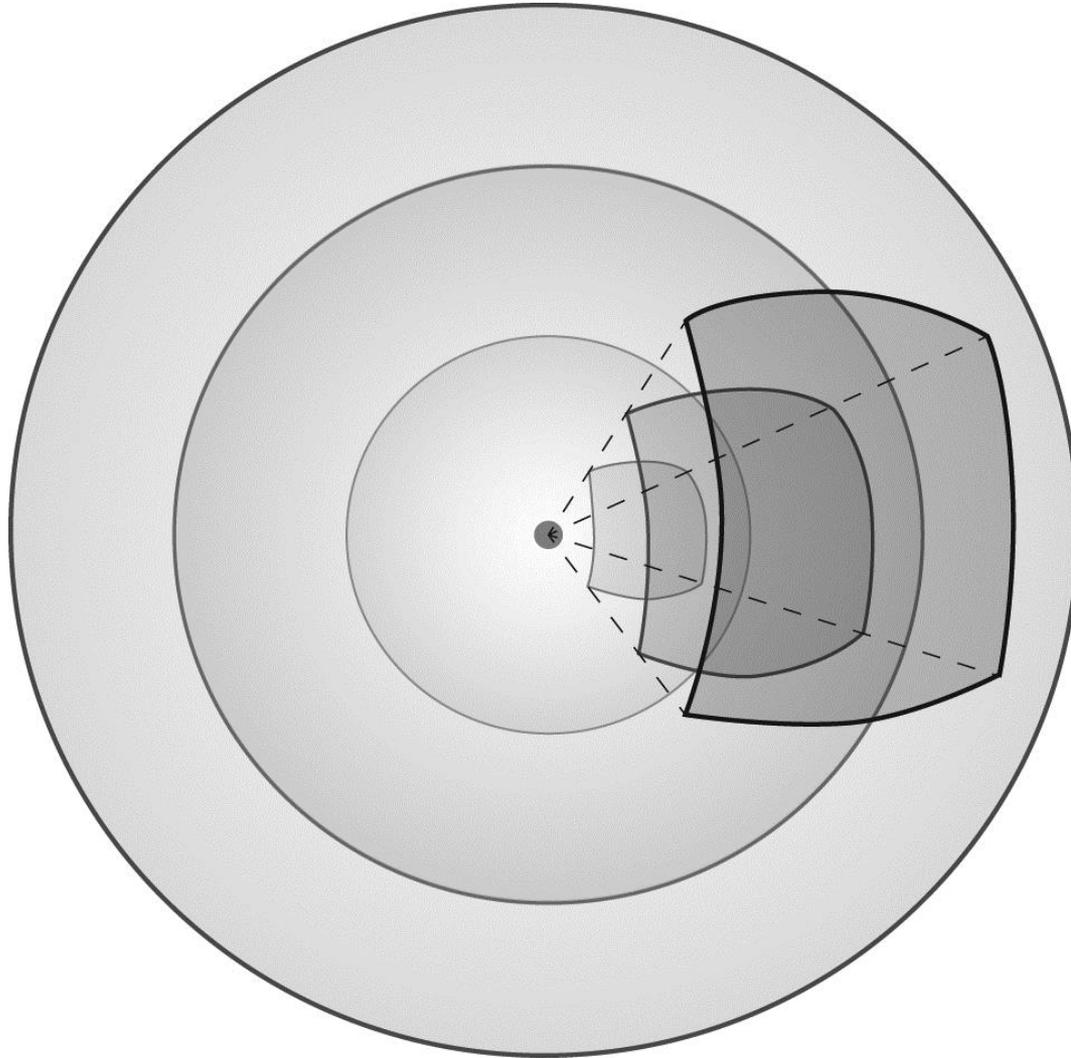
Gründe für die positiven Wirkungen der metakognitiven Anleitungen zum selbständigen Lernen:

- (1) Reflexion und Kontrolle der eigenen Lernfortschritte (weniger Verstehensillusionen)
- (2) gezielte Integration neuer Informationen in das bereits bestehende Vorwissen
- (3) eigenständige Gestaltung der Wissensorganisation

Die Abbildung zeigt einen Jungen, der in einem fahrenden Zug Fußball spielt. Solange der Zug weder seine Geschwindigkeit noch seine Richtung ändert, merkt der Junge nichts von der Bewegung des Zuges.



Hast du die Äquivalenz von Ruhe und gleichförmig geradliniger Bewegung so gut verstanden, dass du jemanden, der glaubt, beide Phänomene wären grundsätzlich verschieden, von der physikalisch richtigen Sichtweise überzeugen könntest? Falls du das noch nicht kannst: Welche Information fehlt dir noch?



Angenommen, Du müsstest einem Mitschüler, der in den Lektionen gefehlt hat, erklären, warum Geräusche bei der Ausbreitung in der Luft immer leiser werden. Hast Du dafür das Modell der Kugelwelle gut genug verstanden? Dann schreibe Deine Erklärung auf. Oder gibt es Punkte, die Dir zum Verständnis noch fehlen, oder die präzisiert werden müssten? Dann beschreibe diese Punkte genau.

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**