



Welches Wissen kann lernwirksam genutzt werden?

Der Aufbau intelligenten Wissens mit kognitiv aktivierenden Lernformen

Ralph Schumacher, MINT-Lernzentrum der ETH Zürich

Welches Wissen brauchen Lehrpersonen, um ihren Unterricht lernwirksam zu gestalten?

- Stern, E., Grabner, R., & Schumacher, R. (2005). [Lehr-Lern-Forschung und Neurowissenschaften: Erwartungen, Befunde und Forschungsperspektiven.](#) Reihe Bildungsreform Band 13. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). (2006 Veröffentlichung auf Englisch)



**Zehn Jahre
später: 2016**

**Elsbeth Stern
Roland H. Grabner
Ralph Schumacher
(Editors)**

Neuroscience and Education

Added Value of Combining Brain
Imaging and Behavioral Research

Zeitschrift für Psychologie
Founded in 1890
Volume 224/ Number 4/ 2016

Editor-in-Chief
Bernd Lepow

Associate Editors
Michael Bošnjak
Edgar Erdfelder
Herta Flor
Dieter Frey
Friedrich W. Hesse
Benjamin E. Hilbig
Heinz Holling
Christiane Spiel

Editorial

Educational Neuroscience

A Field Between False Hopes and Realistic Expectations

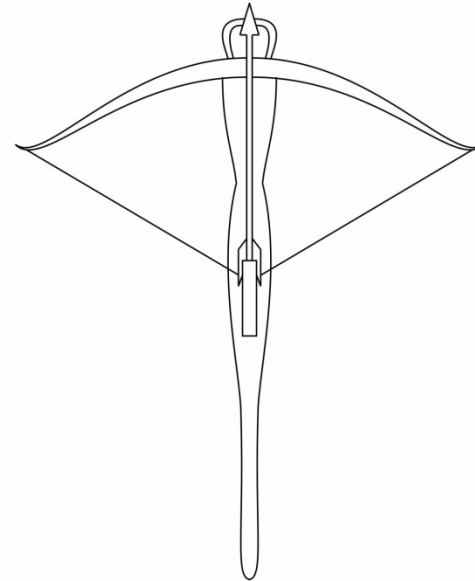
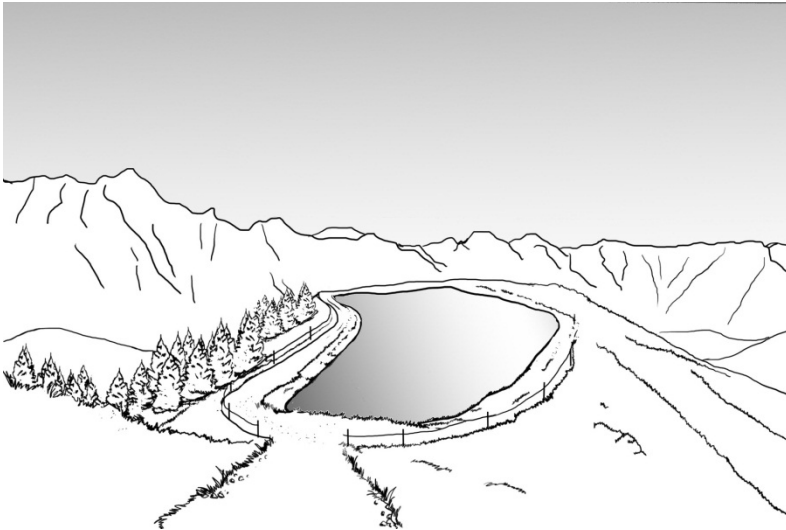
Elsbeth Stern,¹ Roland H. Grabner,² and Ralph Schumacher³

¹ Institute for Research on Learning and Instruction, ETHZ, Zurich, Switzerland

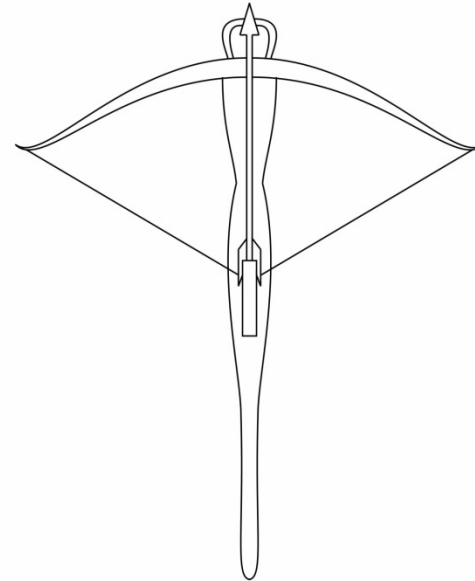
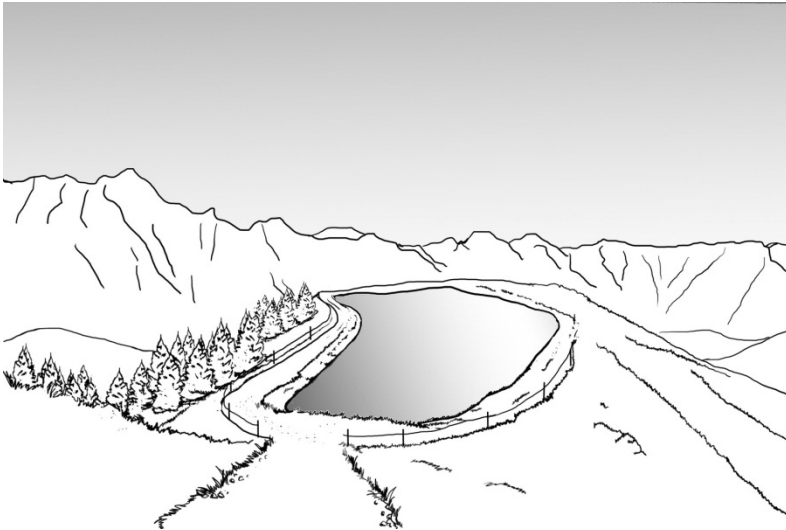
² Institute of Psychology, University of Graz, Austria

³ MINT Learning Center, ETHZ, Zurich, Switzerland

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.



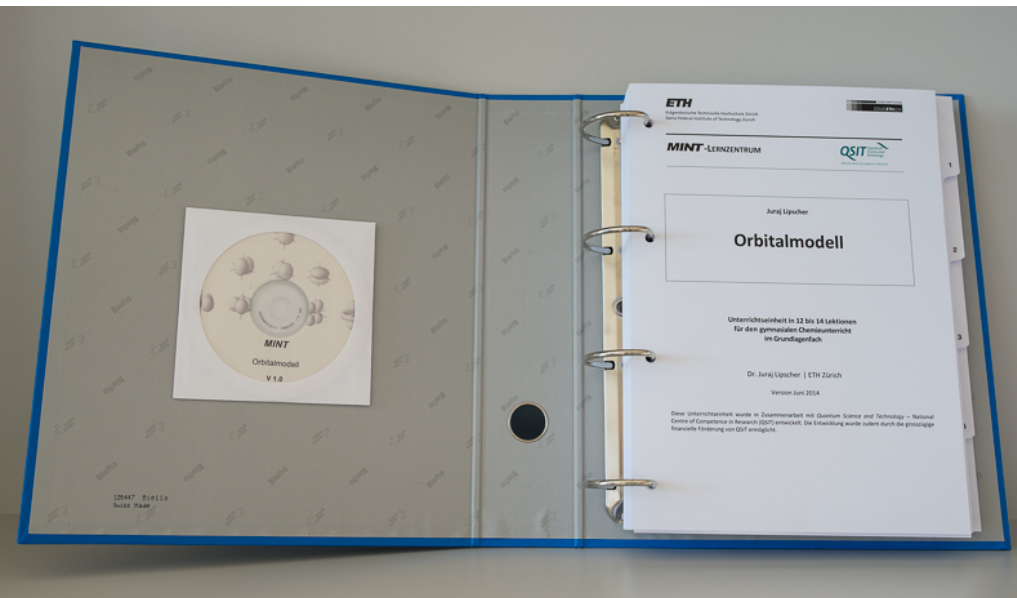
$$||x = \pi$$

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

$$x = \sim$$

Wissenstransfer

- Wissenstransfer: Die Übertragung von Gelerntem auf neue Situationen.
- Voraussetzung für Transfer: Das Erkennen gemeinsamer Elemente in Lern- und Anwendungssituation
- Die menschliche Kognition ist wesentlich bereichsspezifisch.
- Ein spontaner Wissenstransfer zwischen verschiedenen Inhaltsbereichen findet daher selten statt (träges Wissen).
- Keine Vermittlung von Lernstrategien durch Latein- oder Musikunterricht.



Wie lässt sich der Aufbau intelligenten Wissens unterstützen?

- Anknüpfen an das Vorwissen
- Kognitive Aktivierung
- Kontrastierung
- Fokussierte Verarbeitung



Wie lässt sich der Aufbau intelligenten Wissens unterstützen?

- Anknüpfen an das Vorwissen
- Kognitive Aktivierung
- Kontrastierung
- Fokussierte Verarbeitung



- 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?

Ein Schiff aus Eisen geht im Meer nicht unter.

Warum?



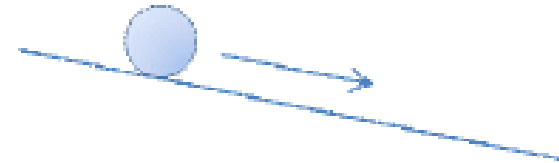
- ☐ Der Motor hält das Schiff oben.
- ☐ Das Schiff wird vom Wasser nach oben gedrückt.
- ☐ Die Luft zieht das Schiff nach oben.
- ☐ Das Schiff ist innen hohl.
- ☐ Im Meer ist so viel Wasser.
- ☐ Wenn das Schiff bis zum Rand eingetaucht wird, wiegt das weggedrängte Wasser weniger als das Schiff.
- ☐ Wenn das Schiff bis zum Rand eingetaucht wird, wiegt das weggedrängte Wasser mehr als das Schiff.

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?

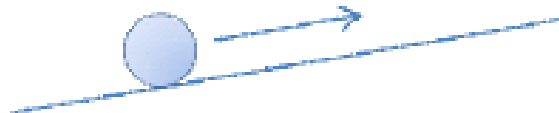
☐ geradeaus



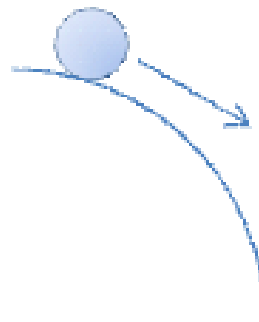
☐ bergab



☐ bergauf

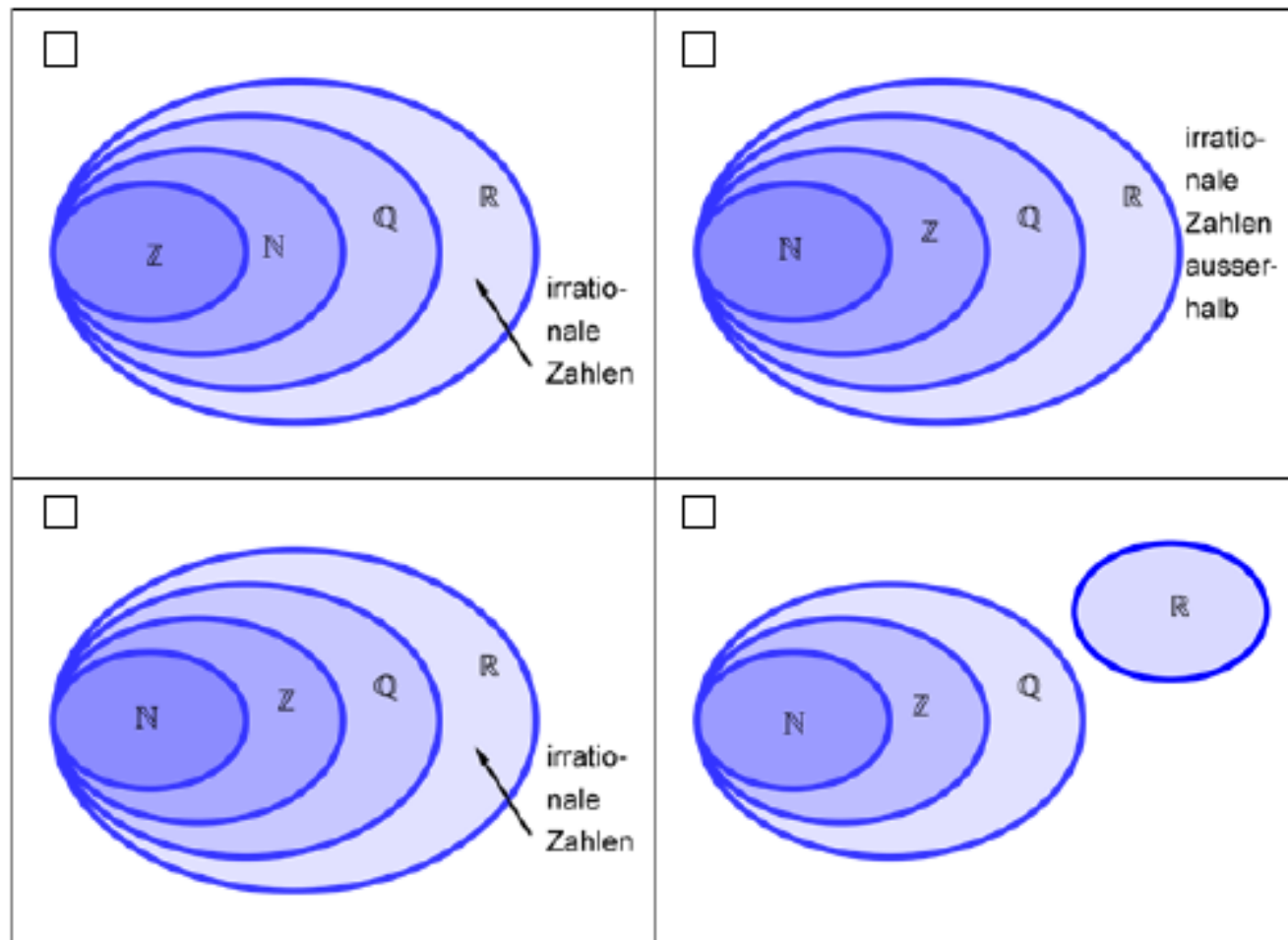


☐ bergab



Aufgabe 2

Welche der folgenden Abbildungen gibt die Teilmengeneigenschaften der gängigsten Zahlmengen korrekt an?



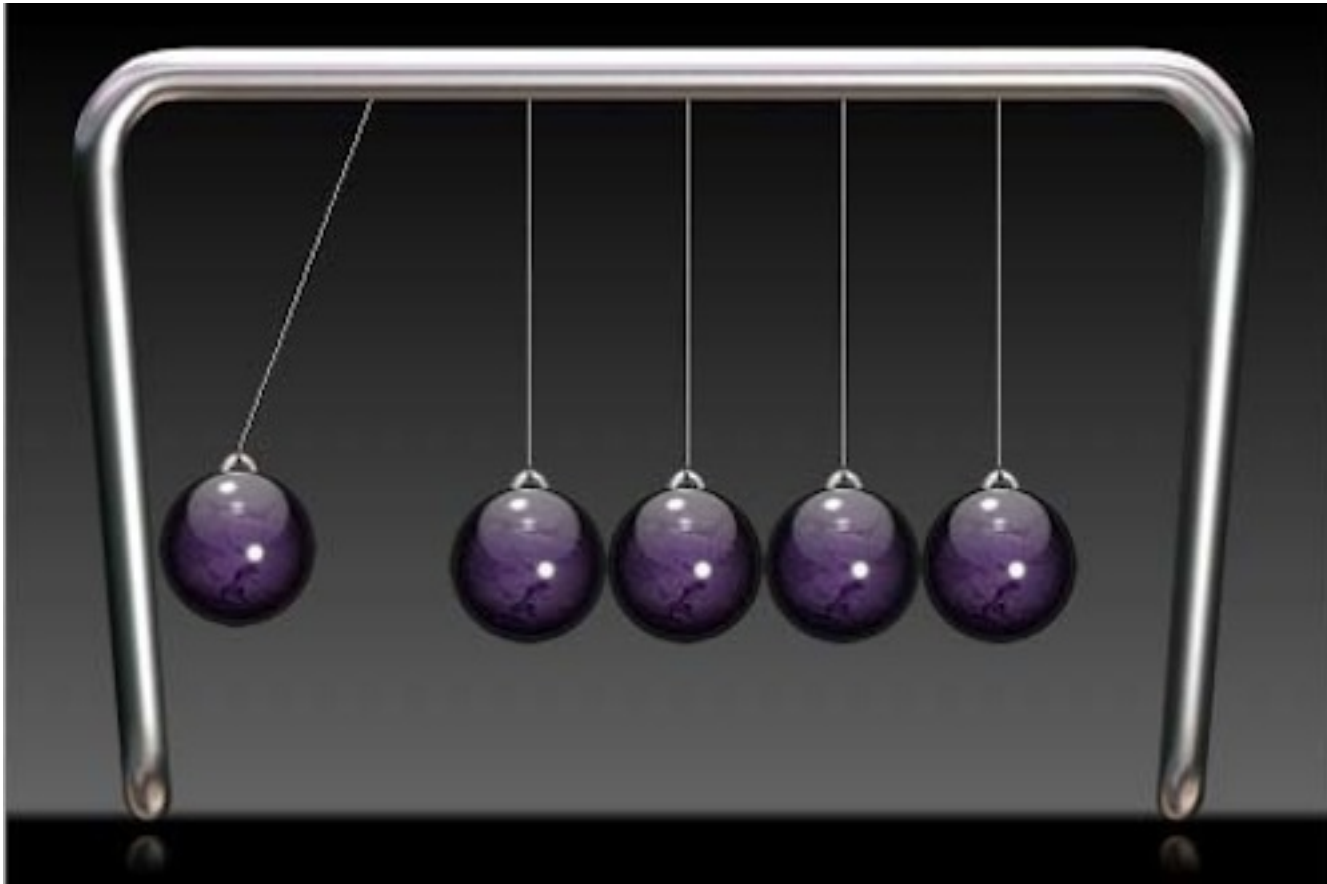
Wie lässt sich der Aufbau intelligenten Wissens unterstützen?

- Anknüpfen an das Vorwissen
- **Kognitive Aktivierung**
- Kontrastierung
- Fokussierte Verarbeitung
- Förderung des frühkindlichen Lernens



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

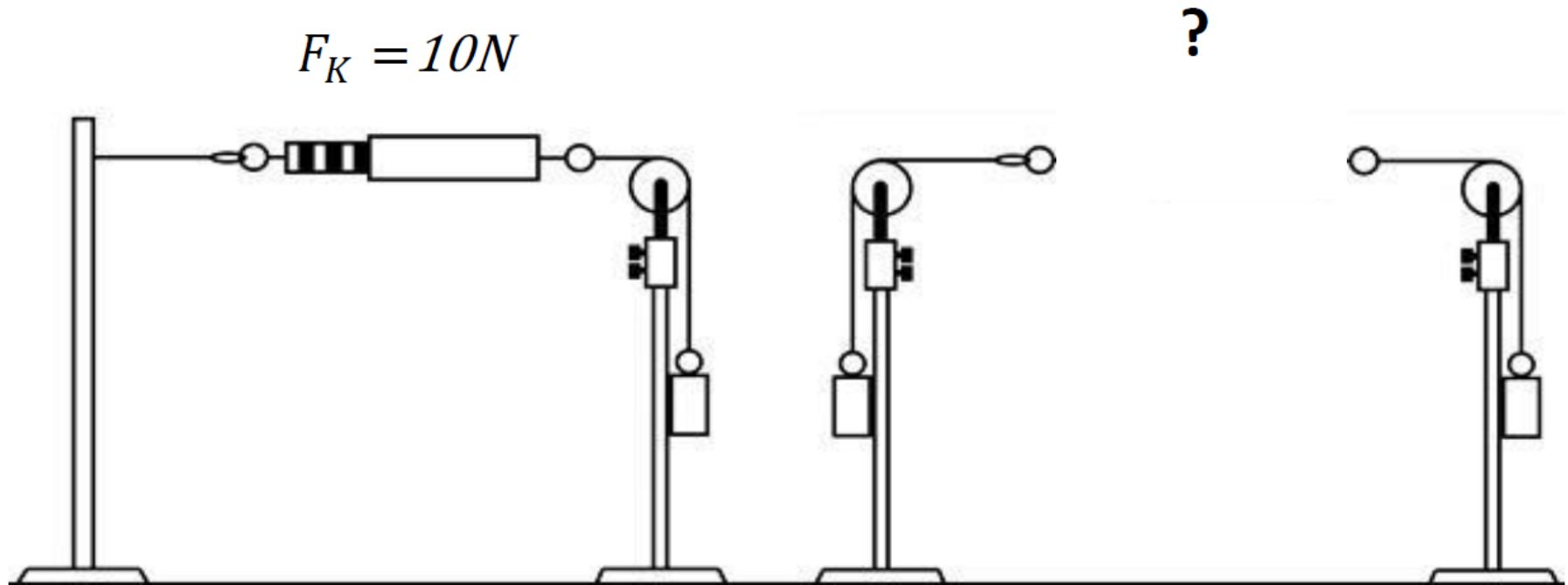




Newtons Pendel veranschaulicht die Impuls- und Energieerhaltung.



Why science teachers are not asked to monitor recess.



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

Kognitiv aktivierende Phänomene als Einstieg nutzen

- Vorwissen aktivieren
- besseres Verständnis der Fragestellung
- Metakognition: Einsicht in die eigenen Wissenslücken und Fehlkonzepte

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

<p>Who is the most consistent Basketball player?</p> <p>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.</p> <p>An award has to be given to the more <u>consistent</u> player of the two. The decision has to be made mathematically.</p> <p>Design <u>as many measures</u> of consistency as you can to determine the more consistent player.</p> <p>Show all working.</p>	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

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

Wie lässt sich der Aufbau intelligenten Wissens unterstützen?

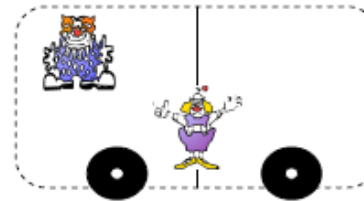
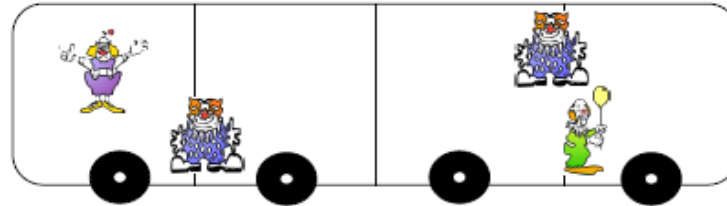
- Anknüpfen an das Vorwissen
- Kognitive Aktivierung
- **Kontrastierung**
- Fokussierte Verarbeitung



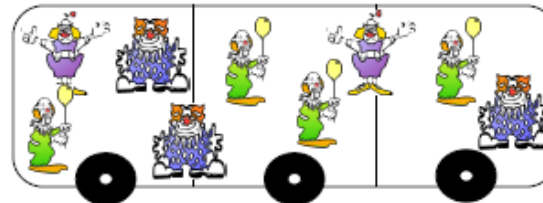
D. L. Schwartz, C. C. Chase, M. A. Oppezzo & Chin,
D. B. (2011). Practicing Versus Inventing With
Contrasting Cases: The Effects of Telling First on
Learning and Transfer. Journal of Educational
Psychology, 22, 1 – 17.

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

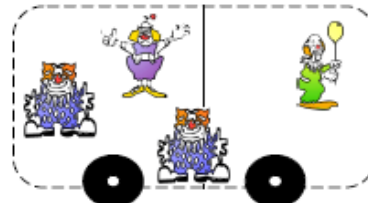
Happy Clowns = _____



Bargain Basement Clowns = _____



Clowns 'r' Us = _____

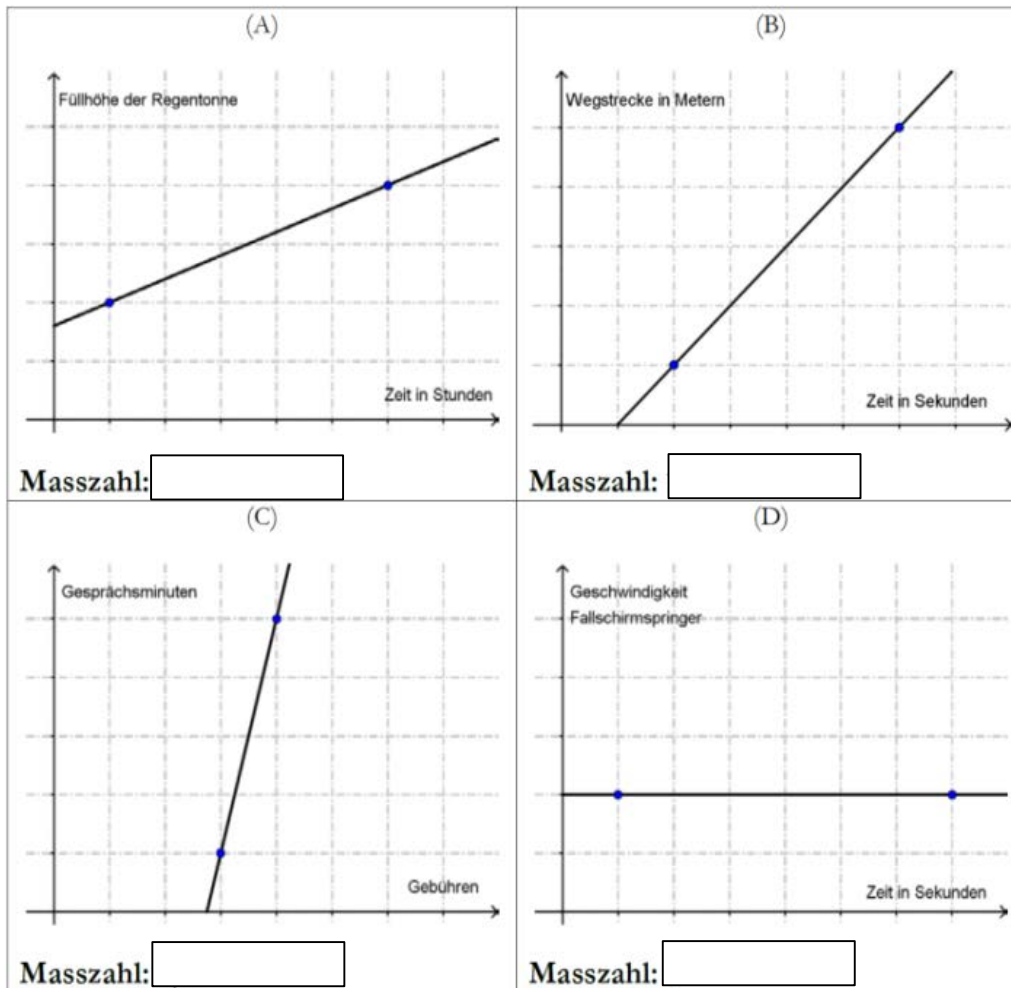


When problem-solving followed by instruction is
superior to the traditional tell-and-practice
sequence.

Lennart Schalk, Ralph Schumacher, Armin Barth & Elsbeth Stern

Accepted in *Journal of Educational Psychology*

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:

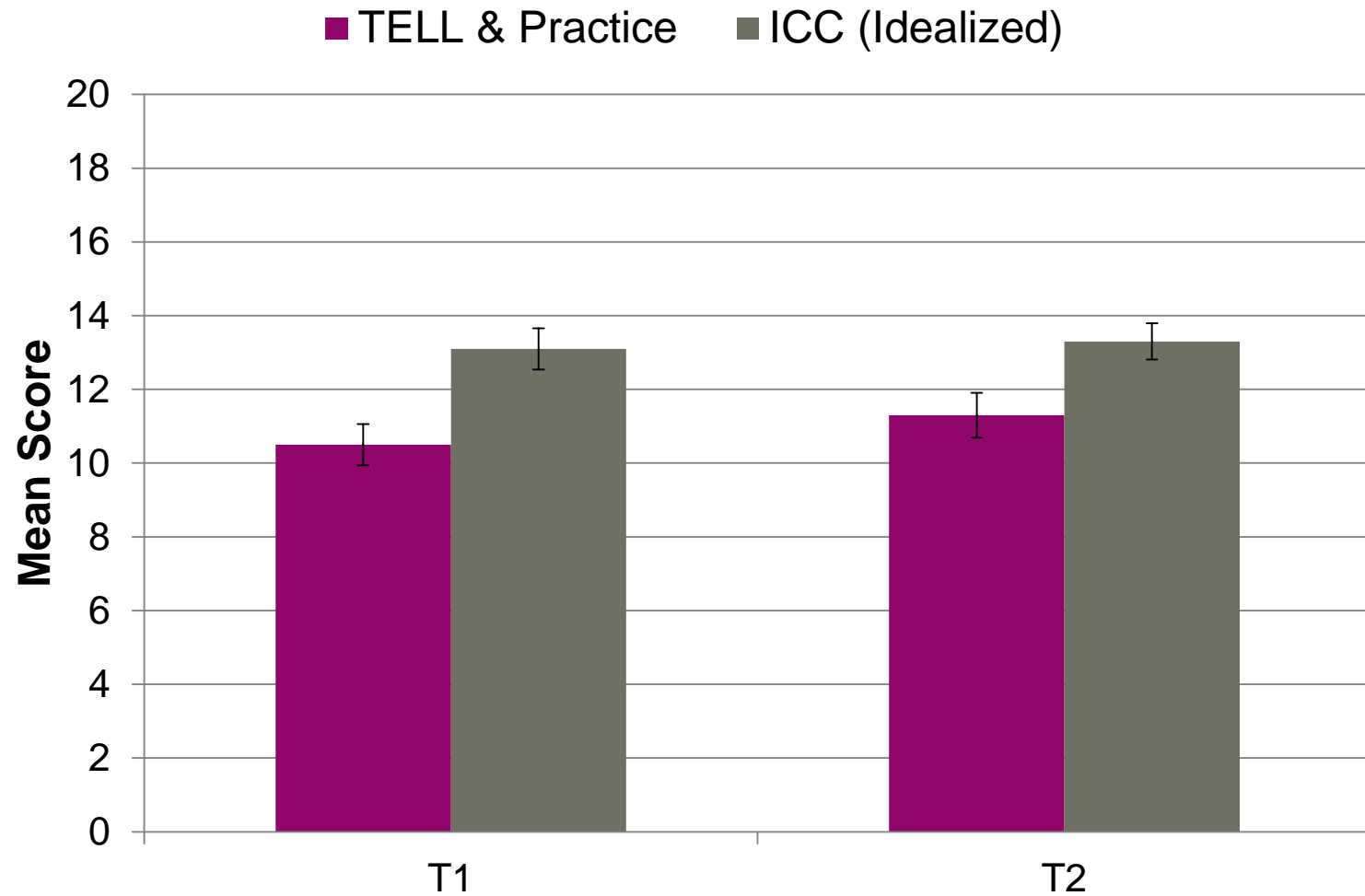
1. Die Zahl soll für jede mögliche Gerade nach derselben Regel zustande kommen.
2. Es muss für Alice möglich sein, die Masszahlen allein aus den abgebildeten Grafiken ohne weitere Hilfsmittel präzise zu bestimmen.
3. Die Grösse der Zahl gibt Bob eine präzise Vorstellung davon, wie steil eine Gerade ist.

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.





Was ist „linear“?

Sie sitzen am Rand einer langen, geraden Strasse, wild entschlossen, das Fahrverhalten einiger vorbeifahrender Autos zu beobachten. Dazu haben Sie entlang der Strasse Distanzmarkierungen angebracht und protokollieren nun in regelmässigen Zeitabschnitten die Position der Fahrzeuge.



Die folgenden Positionen in Metern (ab Beginn der Strasse) sind in Zeitabständen von jeweils einer Sekunde erhoben worden:

	$t=0$	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$	$t=7$	$t=8$
Mercedes	18	35	52	69	86	103	121	139	157
Fahrrad	3	6	9	12	15	18	21	24	27
Volvo	0	1	2	4	8	16	32	64	128
Jaguar	10	20	30	41	52	63	75	87	99
VW	0	64	96	112	120	124	126	127	127.5
Audi	100	95	90	85	80	75	70	65	60
Rolls Royce	71	71	71	71	71	71	71	71	71
Vespa	5	11	17	23	29	35	41	47	53
Traktor	0	2	4	6	8	10	12	14	16
Tesla	15	31	48	66	83	99	114	128	141
Fiat	20	39	57	74	90	105	119	132	144
Alpha Romeo	1	18	35	52	69	86	103	120	137

- a) Studieren Sie die Daten genau. Gibt es Fahrzeuge, bei denen es Ihnen leicht gelingt, eine Formel aufzustellen, die für jede Zeit t in Sekunden die Position s des Fahrzeugs in Metern berechnet? Welche? Und wie lauten die Formeln?

- b) Für das Fahrrad, den Audi, den Rolls Royce, die Vespa, den Traktor und den Alpha Romeo lassen sich Formeln aufstellen, die alle „von der gleichen Art“ sind. Können Sie herausfinden und in Worte fassen, was all diesen Termen gemeinsam ist? Wodurch lassen sich diese Bewegungen charakterisieren?

Wie lässt sich der Aufbau intelligenten Wissens unterstützen?

- Anknüpfen an das Vorwissen
- Kognitive Aktivierung
- Kontrastierung (II)
- Fokussierte Verarbeitung



Unterstützung des Lernens durch Kontrastierung

- Esther Ziegler & Elsbeth Stern (2014). *Delayed benefits of learning elementary algebraic transformations through contrasted comparisons*. Learning and Instruction 33, 131 – 146.
- Fragestellung: Lässt sich im Algebra-Unterricht das Verständnis von Additions- und Multiplikationsproblemen durch Kontrastierung unterstützen?

Unterstützung des Lernens durch Kontrastierung

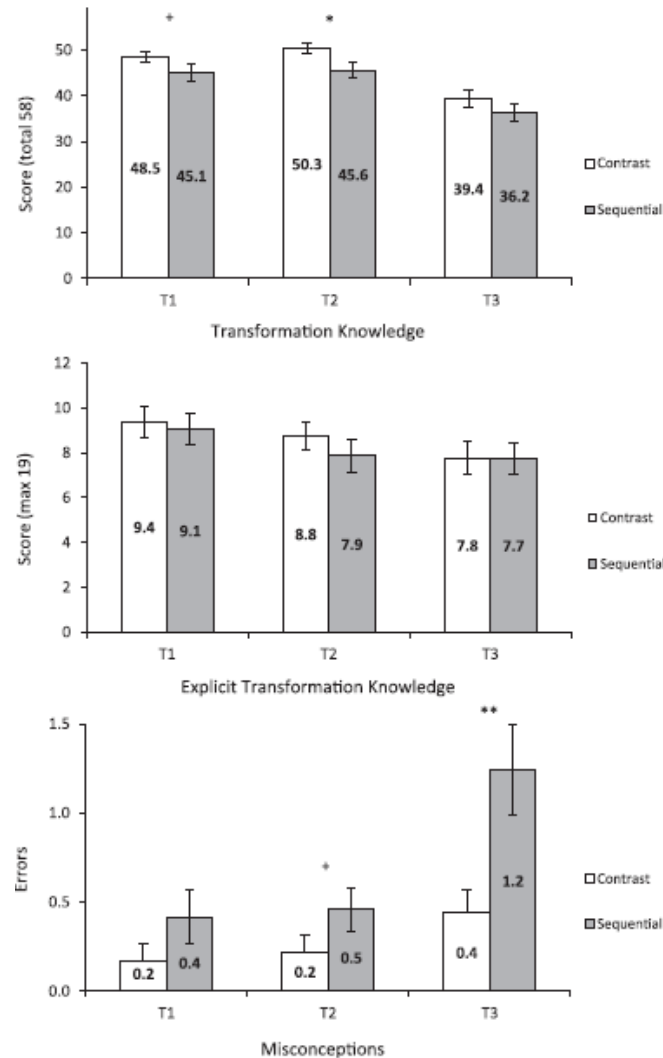
- Experiment 1: contrast program (VG) vs. sequential program (KG), 72 6.-Klässler
- Experiment 2: contrast program (VG) vs. sequential program (KG), 154 6.-Klässler
- Lernaktivität: Selbstlern-Programm

Unterstützung des Lernens durch Kontrastierung

A3	$xy + xy + xy = 3 \cdot xy$ $= 3xy$ $2b + 2b + 2b + 2b + 2b = 5 \cdot 2b$ $= 10b$ $3cx + 3cx = 2 \cdot 3cx$ $= 6cx$	M3	$xy \cdot xy \cdot xy = x \cdot y \cdot x \cdot y \cdot x \cdot y$ $= x \cdot x \cdot x \cdot y \cdot y \cdot y$ $= x^3 \cdot y^3 = x^3 y^3$ $2b \cdot 2b \cdot 2b \cdot 2b \cdot 2b = 2 \cdot b \cdot 2 \cdot b \cdot 2 \cdot b \cdot 2 \cdot b \cdot 2 \cdot b$ $= 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot b \cdot b \cdot b \cdot b \cdot b$ $= 32 \cdot b^5 = 32b^5$ $3cx \cdot 3cx = 3 \cdot c \cdot x \cdot 3 \cdot c \cdot x$ $= 3 \cdot 3 \cdot c \cdot c \cdot x \cdot x$ $= 9 \cdot c^2 \cdot x^2 = 9c^2 x^2$
A4	$c^2 + c^2 + c^2 + c^2 = 4 \cdot c^2 = 4c^2$ $a^4 + a^4 = 2 \cdot a^4 = 2a^4$ $x^3 + x^3 + x^3 = 3 \cdot x^3 = 3x^3$	M4	$c^2 \cdot c^2 \cdot c^2 \cdot c^2 = c \cdot c \cdot c \cdot c \cdot c \cdot c \cdot c \cdot c = c^8$ $a^4 \cdot a^4 = a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a = a^8$ $x^3 \cdot x^3 \cdot x^3 = x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot x = x^9$
A5	$2x + 5x + 2x = 9x$ $3bc + bc + 6bc = 3bc + 1bc + 6bc$ $= 10bc$ $y^3 + 4y^3 = 1y^3 + 4y^3$ $= 5y^3$	M5	$2x \cdot 5x \cdot 2x = 2 \cdot x \cdot 5 \cdot x \cdot 2 \cdot x$ $= 2 \cdot 2 \cdot 5 \cdot x \cdot x \cdot x$ $= 20 \cdot x^3 = 20x^3$ $3bc \cdot bc \cdot 6bc = 3 \cdot b \cdot c \cdot b \cdot c \cdot 6 \cdot b \cdot c$ $= 3 \cdot 6 \cdot b \cdot b \cdot b \cdot c \cdot c \cdot c$ $= 18 \cdot b^3 \cdot c^3 = 18b^3 c^3$ $y^3 \cdot 4y^3 = y \cdot y \cdot y \cdot 4 \cdot y \cdot y \cdot y$ $= 4 \cdot y \cdot y \cdot y \cdot y \cdot y \cdot y$ $= 4 \cdot y^6 = 4y^6$
A6	$m + m + a + m + a + m = a + a + m + m + m + m$ $= 2 \cdot a + 4 \cdot m$ $= 2a + 4m$ $4 + x + z + x + 4 + x = x + x + x + z + 4 + 4$ $= 3 \cdot x + 1 \cdot z + 8$ $= 3x + z + 8$	M6	$m \cdot m \cdot a \cdot m \cdot a \cdot m = a \cdot a \cdot m \cdot m \cdot m \cdot m$ $= a^2 \cdot m^4$ $= a^2 m^4$ $4 \cdot x \cdot z \cdot x \cdot 4 \cdot x = 4 \cdot 4 \cdot x \cdot x \cdot x \cdot z$ $= 16 \cdot x^3 \cdot z^1$ $= 16x^3 z$

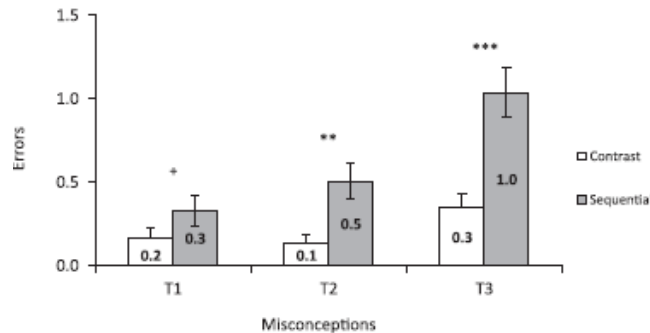
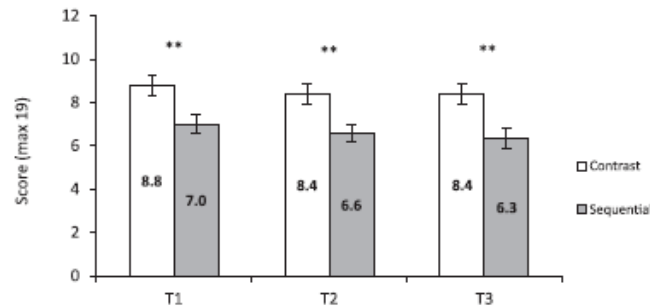
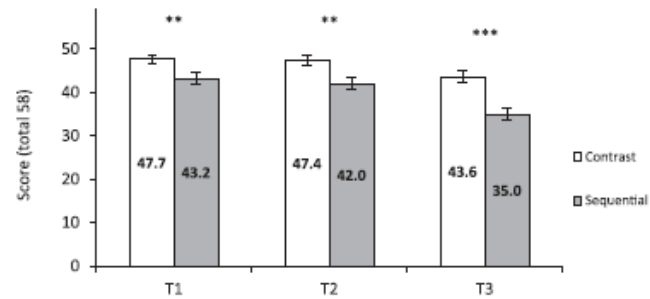
Unterstützung des Lernens durch Kontrastierung

■ Experiment 1:



Unterstützung des Lernens durch Kontrastierung

■ Experiment 2:



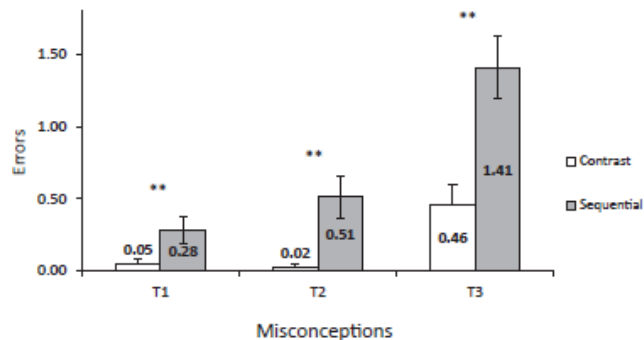
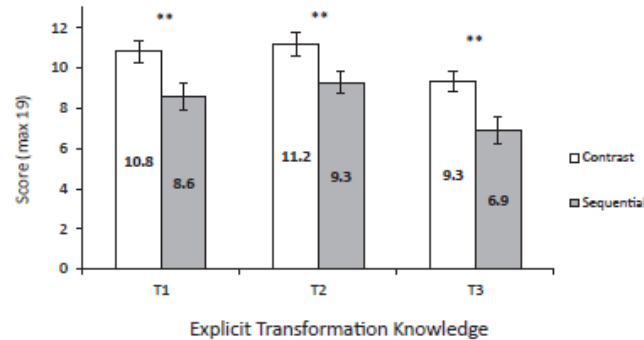
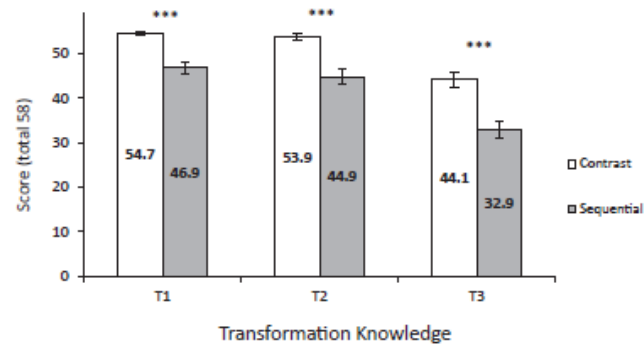
Unterstützung des Lernens durch Kontrastierung

- Esther Ziegler & Elsbeth Stern (2016). *Consistent advantages of contrasted comparisons: Algebra learning under direct instruction*. Learning and Instruction 41, 41 – 51.

Unterstützung des Lernens durch Kontrastierung

- Experiment: contrast program (VG) vs. sequential program (KG), 98 6.-Klässler
- Lernaktivität: direkte Instruktion

Unterstützung des Lernens durch Kontrastierung



Wie lässt sich der Aufbau intelligenten Wissens unterstützen?

- Anknüpfen an das Vorwissen
- Kognitive Aktivierung
- Kontrastierung
- **Fokussierte Verarbeitung**



Fokussierte Verarbeitung I

Aufträge für Selbsterklärungen (Self-Explanations)

- Ausgangslage: mangelnde Lernwirksamkeit von Erklärungen im Unterricht
- häufige Gründe:
 - unzureichende Anpassung an das Vorwissen der Lernenden
 - unzureichende Aktivierung der Lernenden
 - unzureichende metakognitive Selbsteinschätzung der Lernenden

Aufträge für Selbsterklärungen (Self-Explanations)

- Ziel: die Unterstützung der aktiven und fokussierten Verarbeitung von Erklärungen (im Unterricht)
- Vorgehen in zwei Schritten: (1) im Unterricht werden Erklärungen dargestellt und erläutert, (2) im Anschluss daran erhalten die Lernenden Aufträge für Selbsterklärungen

Was sind Selbsterklärungen?

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 Druck?



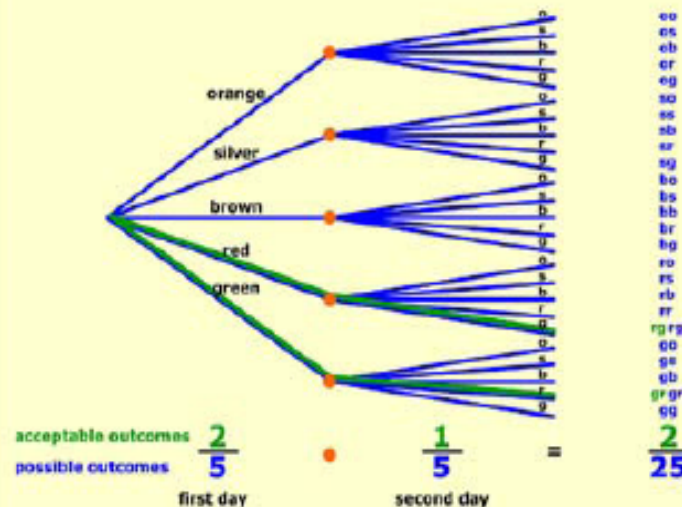
Selbsterklärungen sind für die **Konstruktion von Wissen** sowie für die **Integration neuer Informationen** in das bereits vorhandene Vorwissen von zentraler Bedeutung.

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?

Gründe für die positiven Wirkungen von Selbsterklärungen:

- (1) Reflexion und Kontrolle der eigenen Lernfortschritte (Metakognition / weniger Verstehensillusionen)
- (2) Perspektivübernahme / Anpassung an das Vorwissen
- (3) gezielte Aktivierung korrekter und Unterdrückung inkorrektter Konzepte bzw. 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:

Fokussierte Verarbeitung II

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.

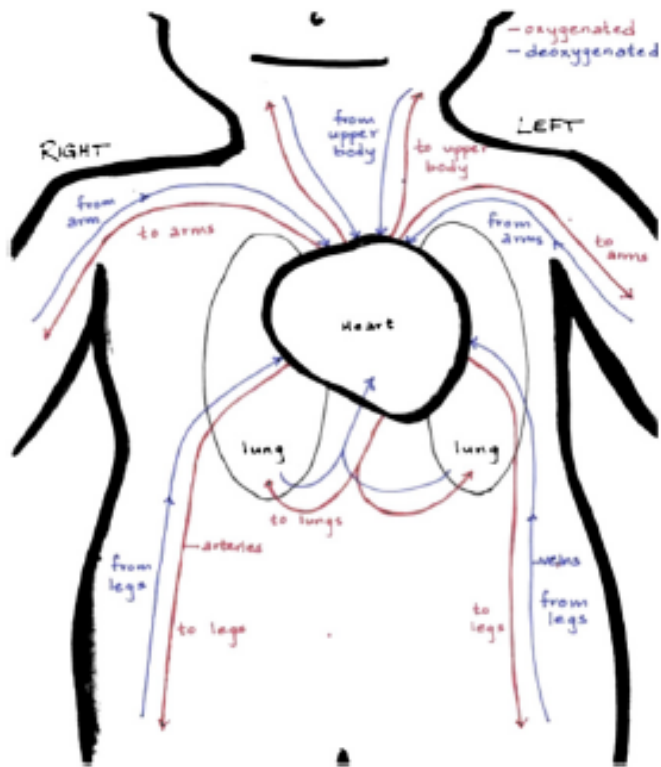
Holistische Konfrontation von Modellen

Versuchspersonen: 84 Studierende zwischen 18 – 29
Jahren

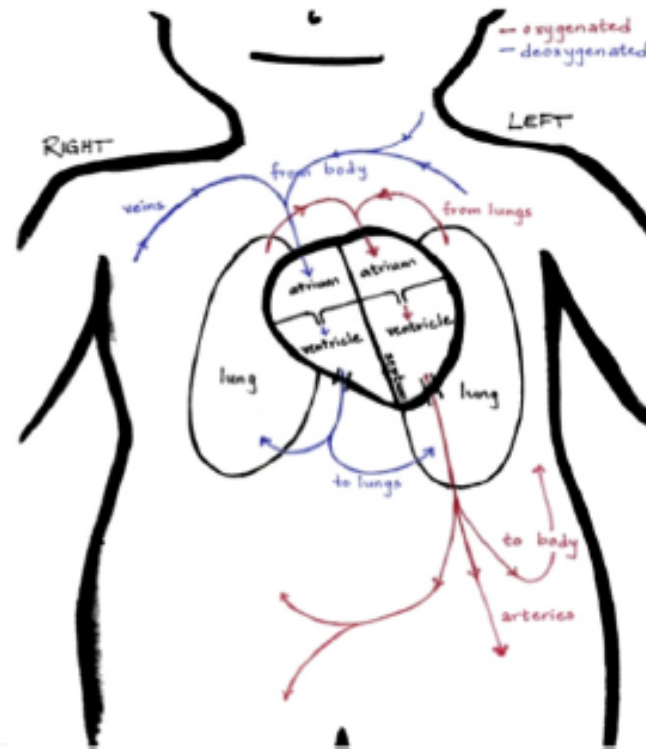
Altersdurchschnitt: 21,2 Jahre

Materialien der Versuchsgruppe

Appendix B. Single-loop model (Flawed)



Appendix C. Double-loop model (Correct)



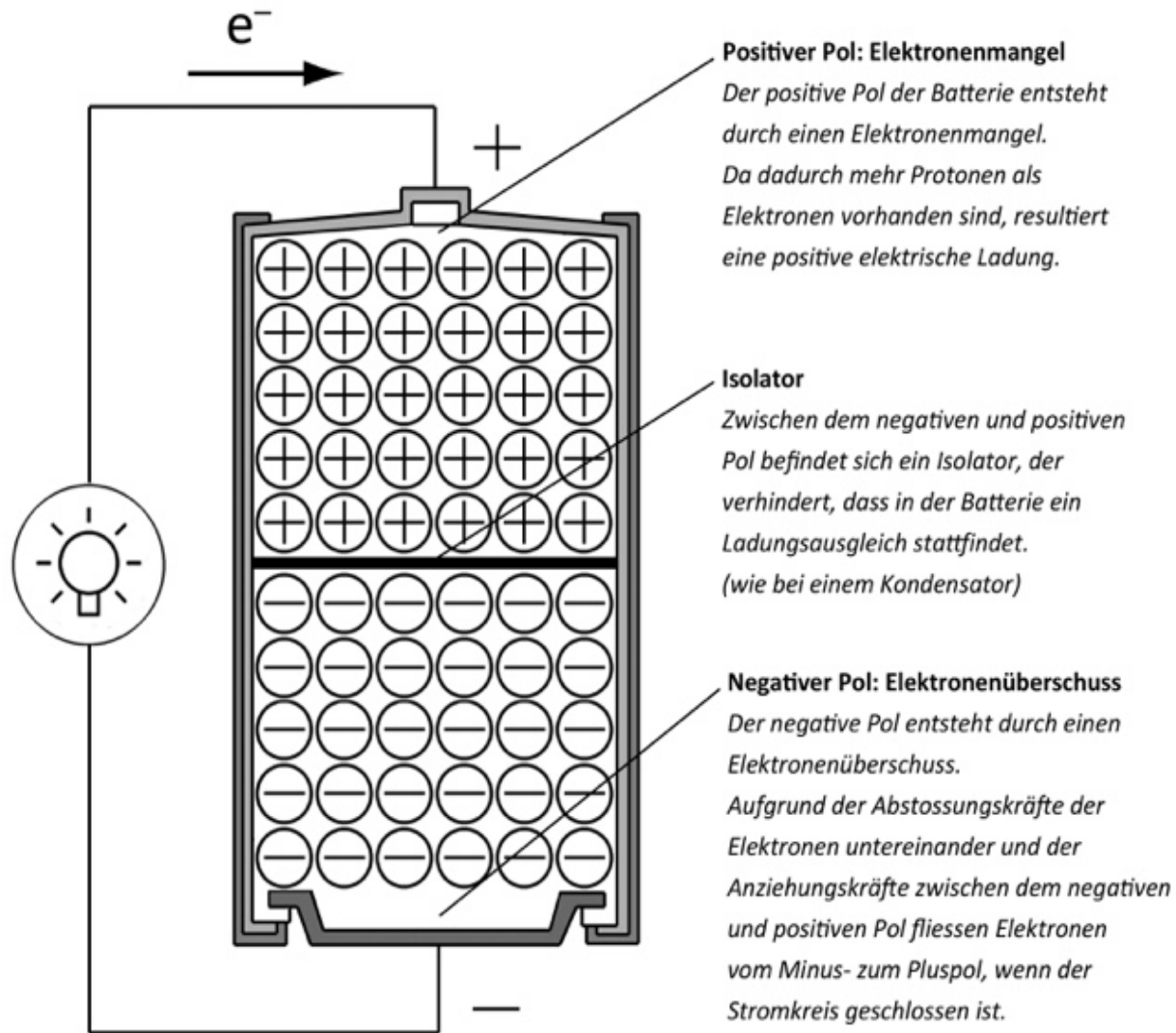
Aufträge der Kontrollgruppe

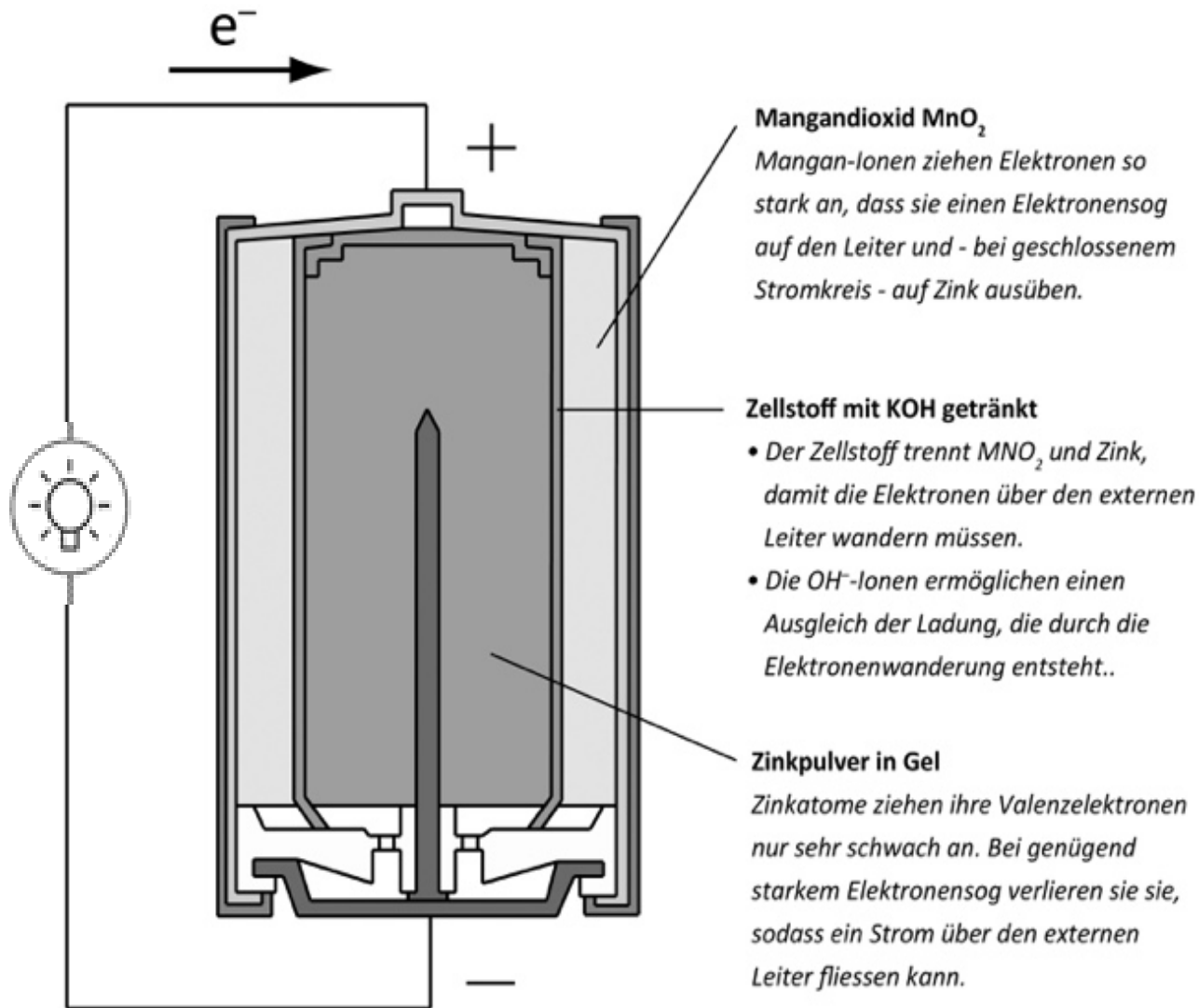
Appendix A. Mental model questions

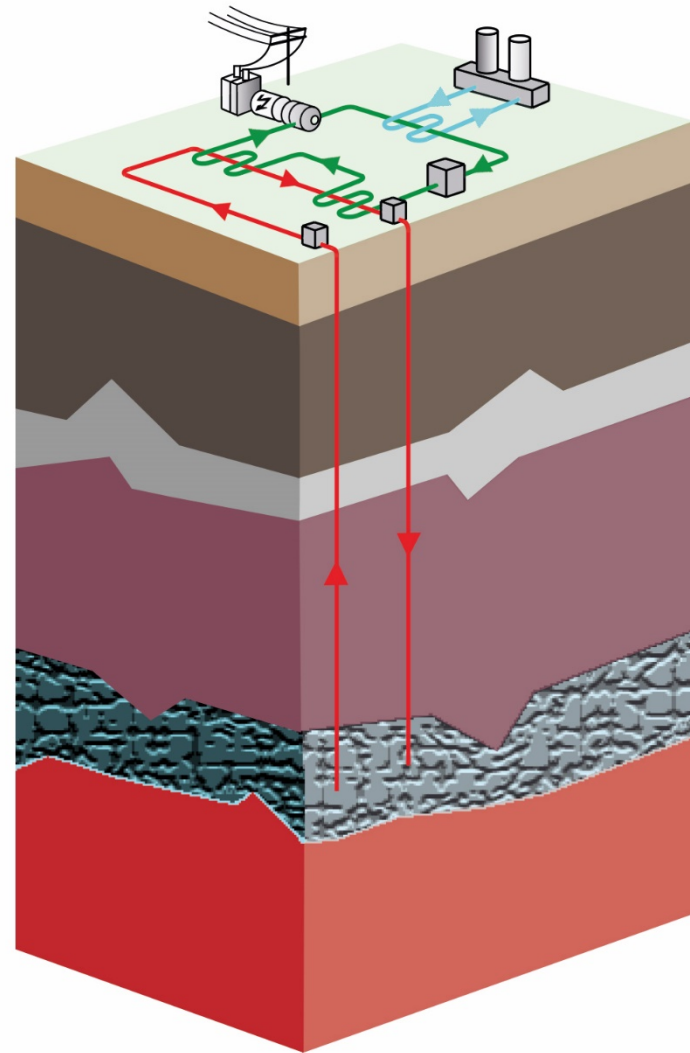
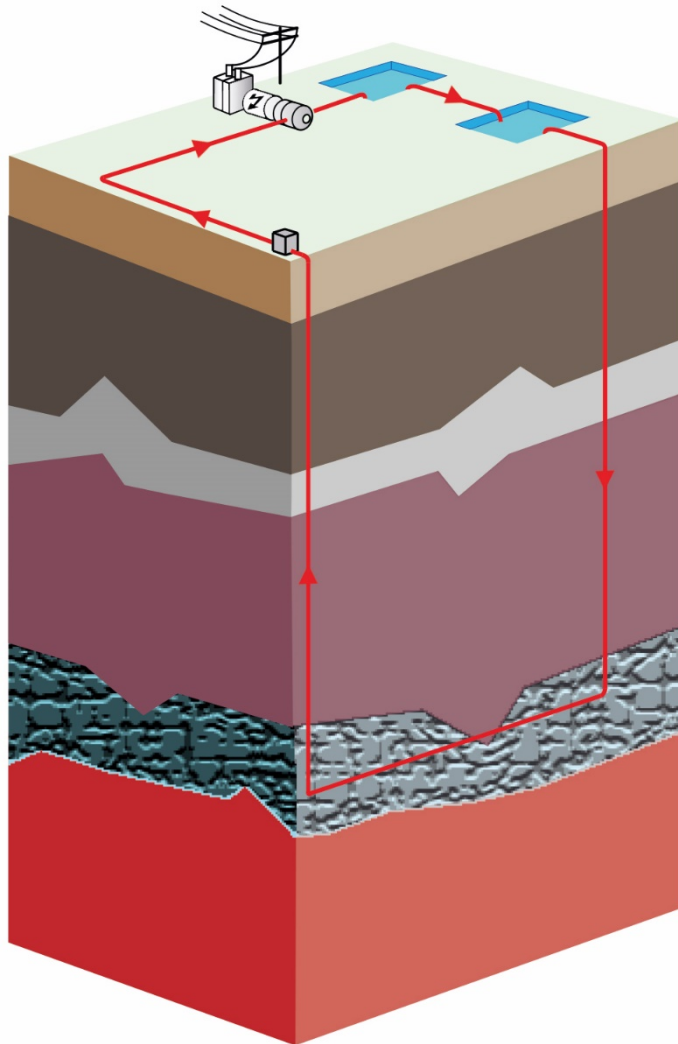
1. Describe in a few lines the path of the blood in the circulatory system.
2. What types of blood vessels are present in the circulatory system and what are their functions?
3. Describe the structure of the heart in a few lines and explain the functions of each part.
4. What are important components 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?

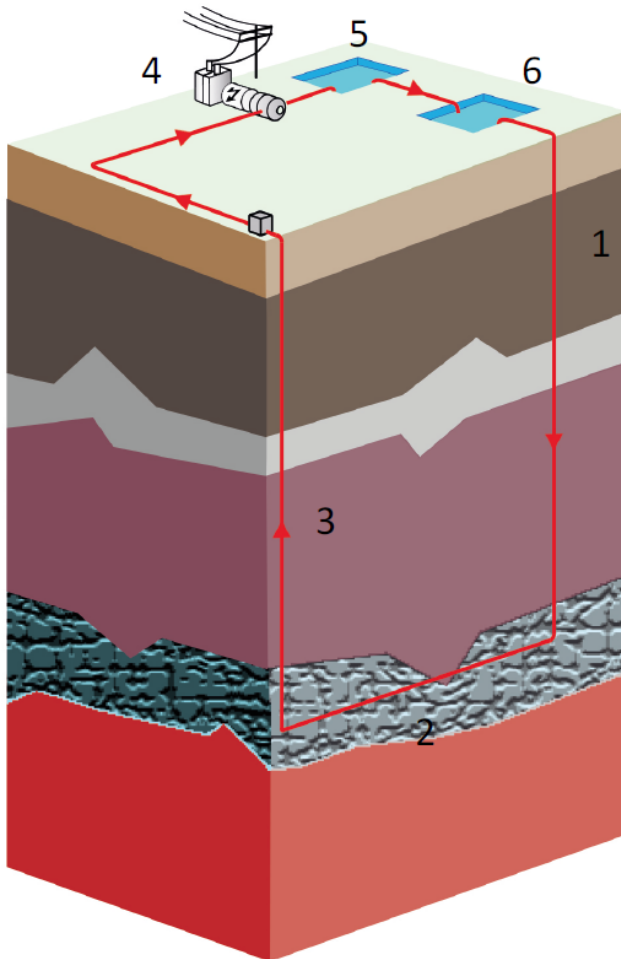
Holistische Konfrontation von Modellen

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









Laugenmodell:

(1) Wasser fließt das Bohrloch herunter in den heißen Untergrund.

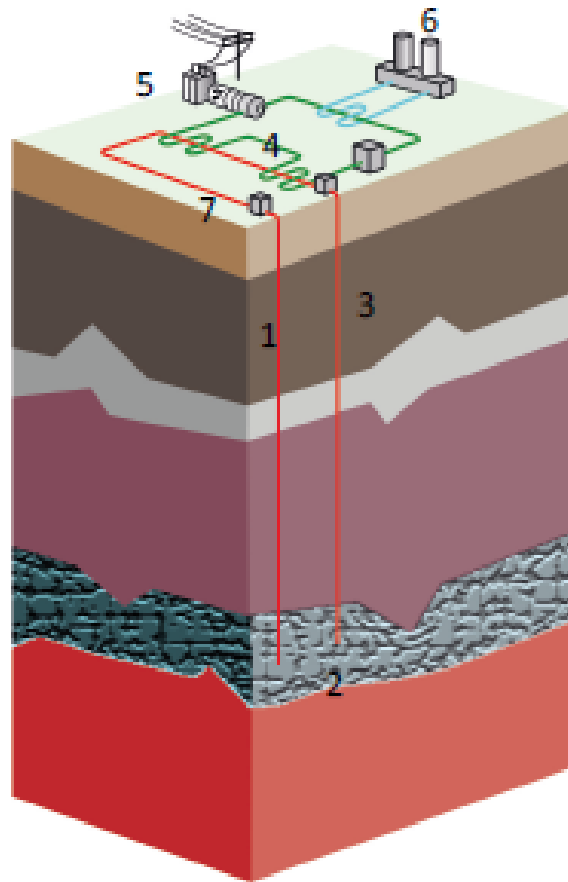
(2) Das Wasser erwärmt sich in der Wasserleitung im heißen Untergrund.

(3) Der heiße Wasserdampf steigt auf.

(4) Der heiße Wasserdampf wird an der Oberfläche auf eine Turbine geleitet, die an einem Generator angeschlossen ist.

(5) Der heiße Wasserdampf verflüssigt sich beim Abkühlen und wird in ein Wasserbecken geleitet.

(6) Das Wasser wird dem Becken für das Injektionswasser zurückgeführt.



Expertenmodell:

(1) Unter hohem Druck werden grosse Wassermengen in den Untergrund gepumpt. Das führt zu Rissen und breiteren Klüften im ansonsten schlecht durchlässigen Gestein.

(2) Das Wasser zirkuliert entlang von Klüften und Rissen im Untergrund und wird erhitzt.

(3) Heisses Wasser aus dem Untergrund (Thermalwasser) wird über ein Förderbohrloch an die Oberfläche gepumpt.

(4) Mit Hilfe eines Wärmetauschers wird die Wärme vom Thermalwasser auf ein Arbeitsmedium, übertragen, das einen geringeren Siedepunkt als Wasser aufweist.

(5) Das dampfförmige Arbeitsmedium wird auf eine

Abbildung 2: Expertenmodell einer Geothermianlage

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

