

Universität Bayreuth
Lehrstuhl Didaktik der Biologie

**Effektivität von interaktivem außerschulischem Unterricht
vor dem Hintergrund der *Cognitive Load*-Theorie**

– Eine Fallstudie am Beispiel von ‚Kochsalz‘ als fächerübergreifendem Thema
im Natur und Technik-Unterricht –

Dissertation

zur Erlangung des Grades

- Dr. rer. nat. -

der Fakultät Biologie, Chemie und Geowissenschaften
an der Universität Bayreuth

vorgelegt von
Dipl.-Biologin

Barbara Meissner

2010

Diese Arbeit wurde von Oktober 2007 bis Oktober 2010 am Lehrstuhl für Didaktik der Biologie an der Universität Bayreuth unter der Leitung von Prof. Dr. Franz X. Bogner angefertigt.

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften der Universität Bayreuth genehmigten Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

Eingereicht am: 14. Oktober 2010

Erster Gutachter: Prof. Dr. Franz X. Bogner

Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Ludwig Haag

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Januar 2011

Inhaltsverzeichnis

A	Summary.....	1
B	Zusammenfassung.....	3
C	Ausführliche Zusammenfassung.....	5
C.1	Theoretischer Hintergrund.....	5
C.1.1	Außerschulischer Unterricht.....	5
C.1.2	Interaktives Lernen.....	6
C.1.3	Cognitive Load-Theorie.....	6
C.1.4	Effektivität, Effizienz und Engagement.....	7
C.1.5	Die Unterrichtseinheit.....	8
C.2	Inhalte und Fragestellungen der Teilstudien A bis C.....	9
C.3	Methodik: Datenerhebung und -auswertung.....	10
C.4	Ergebnisse und Diskussion.....	13
C.5	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	16
D	Literaturverzeichnis der Zusammenfassungen.....	19
E	Teilarbeiten.....	23
E.1	Liste der Publikationen und Darstellung des Eigenanteils.....	23
E.2	Teilarbeit A.....	25
E.3	Teilarbeit B.....	49
E.4	Teilarbeit C.....	85
F	Anhang.....	115
	Inhalte der Pflichtstationen.....	115
	Fragebögen.....	117
	Arbeitsanleitungen („Leitfaden“) und Arbeitsheft („Laborbuch“).....	120

Danksagung

Erklärung

A Summary

In demanding learning environments, students – beyond gaining knowledge – need to expend cognitive resources for implementation of key competencies (coordination, cooperation, planning, orientation, ...). Curricula and national educational standards (KMK 2005) increasingly urge to enhance these competencies. It is essential for everyday life and future careers, as well.

In the present study, students faced a novel out-of-school environment, and they had to perform student-centred hands-on activities in groups: The lesson at the salt mine Berchtesgaden incorporated five descriptive, age-appropriate experiments about major attributes of salt (NaCl)¹. Both out-of-school learning and interactive learning (group work, experiments) are highly demanding and cause additional (extraneous) cognitive load. Extraneous cognitive load is independent from coping with the subject itself (intrinsic cognitive load) and resulting learning processes (germane cognitive load) (e.g. Kirschner et al. 2006, Sweller et al. 1998). Hence, out-of-school settings in particular require careful instructional design: On the one hand, it is demanding learning settings that foster key competencies, on the other hand, cognitive overload of working memory must be avoided.

Cognitive load theory (Sweller et al. 1998, Sweller 2010) provided guidelines for instructional design of the lesson. Part A of the study demonstrated that the learning environment itself had only limited impact on cognitive and affective results: A comparison of the salt mine as learning environment and a neutral learning environment with no links to 'salt' revealed no significant differences in students' cognitive achievement and their motivational and emotional feedback.

Part B and C of the study examined the value of cognitive load theory (Sweller et al. 1998, Sweller 2010) as a guideline for instructional design of out-of-school science lessons. Student clusters on the basis of the individual effectiveness of the lesson were defined. About 50 % of the students revealed very good results, about 25 % could have done better, and about 25 % showed no satisfying outcomes. Cognitive and

¹ The lesson will soon be published in a practical school journal to be specifically available for teachers.

motivational analyses confirmed the cognitive load theory as a valuable basis for the design of demanding science learning settings. There was only one issue missing: Part B and C of the study demonstrated that most of the deficiencies could have been compensated if students had had more extended guidance, as, for example, directing questions or encouraging feedback. In the framework of cognitive load theory, suitable guidance is mentioned (van Merriënboer et al. 2006). However, there are no specifications about assembly of suitable guidance in science education. Hence, existing approaches (van Merriënboer et al. 2006) may be the basis for future research.

Altogether, the three parts of the study show effective and efficient learning in a demanding learning environment. They confirm the value of cognitive load theory as a theory of instructional design. The study specifically points to the importance of further investigations in assembly of suitable guidance in science lessons, which often has been neglected, up to now. This study substantially contributes to an improvement of the design of demanding learning settings, as conditions have been developed to effectively and efficiently connect individual knowledge gain with a student's competence formation.

B Zusammenfassung

Anspruchsvolle Lernumgebungen zeichnen sich dadurch aus, dass Schüler/innen² über den reinen Wissenserwerb hinaus viele kognitive Ressourcen für die Anwendung von Schlüsselkompetenzen (Koordination, Zusammenarbeit, Planung, Orientierung, ...) aufwenden müssen. Eine Förderung dieser Kompetenzen ist Bestandteil der Lehrpläne und der nationalen Bildungsstandards (KMK 2005), ihre Bedeutung für den Alltag und das spätere Berufsleben sind wohl unumstritten.

In der vorliegenden Studie wurden die Schüler mit einer neuartigen, außerschulischen Umgebung konfrontiert, und sie mussten schülerzentriert in einer Gruppe mit Klassenkameraden praktische Tätigkeiten ausführen: Das Unterrichtsprojekt am Salzbergwerk Berchtesgaden umfasste fünf Versuche, die zentrale Eigenschaften von Kochsalz altersgerecht und anschaulich vermitteln³. Sowohl außerschulischer Unterricht als auch interaktives Lernen (Gruppenarbeit, experimentelles Arbeiten) sind sehr anspruchsvoll. Sie verursachen zusätzliche (wirkungslose) kognitive Last, die unabhängig von der reinen Auseinandersetzung mit dem Thema (intrinsische kognitive Last) und den damit verbundenen Lernprozessen (wirksame kognitive Last) ist (z. B. Kirschner et al. 2006, Sweller et al. 1998, Hofstein & Lunetta 2004). Um eine Überlastung des Arbeitsgedächtnisses zu vermeiden und dennoch der Forderung nach Kompetenzförderung gerecht zu werden muss deshalb in anspruchsvollen Lernumgebungen besonders auf ein sorgfältiges Unterrichtsdesign geachtet werden. Die Theorie der kognitiven Last (Sweller et al. 1998, Sweller 2010) diene in der vorliegenden Arbeit als Richtlinie für das instruktionale Design. In Teilstudie A konnte gezeigt werden, dass der Lernort selbst nur bedingten Einfluss auf kognitive wie affektive Resultate hat: Eine Durchführung am Salzbergwerk und an einem neutralen Lernort ohne Bezug zum Thema ‚Salz‘ führten zu keinen signifikanten Unterschieden im Lernerfolg und im motivationalen und emotionalen Feedback der Schüler.

² Im Folgenden wird der Ausdruck „Schüler“ für beide Geschlechter gleichermaßen verwendet.

³ Der Unterricht wird demnächst in einer Zeitschrift für die Schulpraxis veröffentlicht und auf diese Weise Lehrkräften zugänglich gemacht werden.

In den Teilstudien B und C wurde die Eignung der Theorie der kognitiven Last (Sweller et al. 1998, Sweller 2010) als Richtlinie für das instruktionale Design außerschulischer naturwissenschaftlicher Lerneinheiten überprüft. Dazu wurden Cluster entsprechend der individuellen Effektivität des Unterrichts gebildet. Etwa die Hälfte der Schüler zeigte sehr gute Ergebnisse, jeweils etwa ein Viertel hätte besser abschneiden können bzw. lieferte schlechte Resultate. Analysen auf kognitiver und motivationaler Ebene bestätigten die Eignung der Theorie der kognitiven Last als Grundlage für die Ausgestaltung anspruchsvoller naturwissenschaftlicher Lernumgebungen. Es konnte lediglich ein fehlendes Element identifiziert werden: Die Ergebnisse der Teilstudien B und C zeigten, dass mit intensiverer Anleitung, z. B. in Form gezielter Fragen und ermutigenden Feedbacks, die meisten Defizite vermutlich hätten ausgeglichen werden können. Angemessene Anleitung wird zwar im Rahmen der Theorie der kognitiven Last gefordert (van Merriënboer et al. 2006), es werden jedoch keine Spezifikationen gegeben, welchen Kriterien diese im naturwissenschaftlichen Unterricht genügen sollte. Anhaltspunkte für weitere Überlegungen sind vorhanden (van Merriënboer et al. 2006) und sollten als Grundlage für zukünftige Studien herangezogen werden.

Die vorliegende Gesamtstudie zeigt, dass effektives und effizientes Lernen in anspruchsvollen Lernumgebungen möglich ist. Die Eignung der Theorie der kognitiven Last wurde bestätigt, wobei der Aspekt der adäquaten Anleitung im naturwissenschaftlichen Unterricht noch weiterer Forschung bedarf. Ein besonderes Anliegen war es, die Bedeutung adäquater Anleitung zu betonen, deren systematische Erforschung und Umsetzung in vielen Forschungsbereichen bislang eher zu kurz kam. Diese Arbeit trägt zu einer Verbesserung von Unterricht in anspruchsvollen Lernumgebungen bei, indem sie Faktoren aufzeigt, die Vermittlung von Wissen effektiv und effizient mit individueller Kompetenzförderung zu verknüpfen.

C Ausführliche Zusammenfassung

Im Folgenden soll eine kurze Einführung in die theoretischen Konzepte gegeben werden, auf denen die Teilstudien basieren (Kap. C.1). Im Anschluss werden die Teilstudien selbst vorgestellt, von Inhalten und Fragestellungen (Kap. C.2) über angewandte Methoden (Kap. C.3) bis hin zur Ergebnisübersicht und Diskussion (Kap. C.4) mit abschließendem Ausblick (Kap. C.5). Die Teilstudien befassen sich mit extrinsischen und intrinsischen Faktoren, die das interaktive Lernen am außerschulischen Lernort beeinflussen. Durch deren Analyse sollen Bedingungen aufgezeigt werden, unter denen anspruchsvolle Lernumgebungen in den lehrplanbezogenen Unterricht integriert werden können.

C.1 Theoretischer Hintergrund

C.1.1 Außerschulischer Unterricht

Außerschulische Lernorte nehmen im Schulalltag einen hohen Stellenwert ein und sind daher im Maßnahmenkatalog der ‚Empfehlung der Kultusministerkonferenz zur Stärkung der mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bildung‘ (KMK 2010) integriert: Durch möglichst authentische Erfahrungen sollen Interesse und Freude an naturwissenschaftlichen Phänomenen geweckt bzw. gefördert werden. In entsprechender Weise didaktisch aufbereitete Angebote rechtfertigen dabei auch den organisatorischen und finanziellen Aufwand, den eine solche außerschulische Aktivität mit sich bringt: Eine fachliche Einbindung in den Lehrplan und die Erarbeitung abfragbaren Wissens grenzen eine außerschulische Unterrichtseinheit von einem reinen ‚Spaßausflug‘ ab (Orion 1993, Guisasola et al. 2005, Rennie 1994, Rennie & McClafferty 1996). Altersgemäße Vorbereitung auf die Umgebung des außerschulischen Lernortes sowie die Ziele und Inhalte des Ausfluges unterstützen eine nachhaltige Wissensvermittlung vor Ort (Orion & Hofstein 1994). Leider werden Bildungsstandards und aktuelle Forschungsergebnisse bei der Gestaltung außerschulischer Projekte oft vernachlässigt (Griffin & Symington 1997). Die zahlreichen Einflussfaktoren in einer außerschulischen Lernumgebung wurden z. B. von Falk und Kollegen (2004; Contextual Model of Learning) in Bezug auf Science Center, und von Orion und Hofstein (1994) für außerschulischen Unterricht generell untergliedert. Aus diesen beiden Modellen lassen sich ein geographischer, ein sozio-kultureller, ein persönlicher

und ein instruktionaler Bereich ableiten, die auf das Gelingen außerschulischen Unterrichts Einfluss nehmen.

Die vorliegende Unterrichtseinheit ist zur Durchführung an einem Salzbergwerk konzipiert. Teilstudie A nimmt je einen Faktor aus dem geographischen und dem persönlichen Bereich genauer unter die Lupe.

C.1.2 Interaktives Lernen

Interaktivität umfasst Aktivitäten, bei denen eine Person durch eine Handlung (Aktion) eine Reaktion bewirkt, die wiederum eine Aktion der handelnden Person erfordert. Vor allem bekannt ist dieses Konzept der Interaktivität aus dem ICT-Bereich (vgl. Burkart 2002). Die Bedeutung geht jedoch darüber hinaus und bezieht sich auf alle Tätigkeiten, die ein Wechselspiel aus Aktion und Reaktion darstellen. Ein Beispiel bildet die Gruppenarbeit, bei der die Gruppenmitglieder im sozialen Austausch zeitgleich als Akteure und Re-Akteure fungieren (vgl. Jäckel 1995, Burkart 2002). Ein weiteres Beispiel ist das experimentelle Arbeiten, bei dem die Rollen des Akteurs und Re-Akteurs von der durchführenden Person und den benötigten Geräten/Materialien übernommen werden (vgl. Abell & Lederman 2007, Konhäuser 2003, McLean 1993). Beide Formen der Interaktivität sind in den Lehrplänen und den nationalen Bildungsstandards verankert (KMK 2005): Soziale und schülerzentrierte Lernformen sollen überfachliche Kompetenzen wie Selbst-, Sozial-, Sach- und Methodenkompetenz der Schüler fördern. Die hier behandelte Unterrichtseinheit ist durch diese beiden Beispiele für Interaktivität gekennzeichnet: Die Schüler führen in Gruppen selbständig Experimente durch. Teilstudie B und C resultieren aus dieser anspruchsvollen Lernsituation für die Schüler.

C.1.3 Cognitive Load-Theorie

Die *Cognitive Load*-Theorie (Chandler & Sweller 1991), im Folgenden Theorie der kognitiven Last genannt, wurde erstmals bereits 1988 von John Sweller zur Evaluation problembasierter Lernens herangezogen. Seither wurde sie weiterentwickelt und ausgebaut, 1998 von Sweller und Kollegen ausführlich dargelegt, und 2010 von Sweller aktualisiert.

Unser Arbeitsgedächtnis mit seiner begrenzten Kapazität dient dazu, Informationseinheiten (Elemente) zu verarbeiten. Der Lernprozess ist durch die Bildung komplexer Elemente, kognitiver Schemata, aus einfachen Elementen charakterisiert. Diese kognitiven Schemata werden im Langzeitgedächtnis gespeichert und können von dort vom Arbeitsgedächtnis abgerufen werden. Jede Lerneinheit erfordert ein gewisses Ausmaß an kognitiven Ressourcen zur Verarbeitung der vorhandenen

Informationseinheiten (geistige Anstrengung). Diese Anforderung an das Arbeitsgedächtnis, eine gewisse geistige Anstrengung aufzuwenden, stellt die kognitive Last dar. Da die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses begrenzt ist, ist es wichtig, dass die kognitive Last einer Lerneinheit diese Kapazität nicht überschreitet. Andernfalls ist sinnvolles Lernen nicht mehr möglich. Informationsverarbeitung kann für das Erfassen (intrinsische kognitive Last) und das Lernen des Inhalts (wirksame kognitive Last) notwendig sein, oder aber es werden Informationen verarbeitet, um zum Beispiel die Gestaltung der Unterlagen zu verstehen, erforderliche Aktivitäten durchzuführen oder Materialien zu suchen. Diese Prozesse erfordern geistige Anstrengung, tragen aber nicht zum eigentlichen Lernprozess bei (wirkungslose kognitive Last). (Sweller et al. 1998, Sweller 2010)

An außerschulischen Lernorten und bei interaktivem Lernen ist diese für Lernprozesse wirkungslose kognitive Last per se sehr hoch (z. B. Kirschner et al. 2006, Sweller et al. 1998, Hofstein & Lunetta 2004).

Teilstudie A untersucht, wie groß der Einfluss der Lernumgebung auf die kognitive Leistungsfähigkeit der Schüler ist. Die Teilstudien B und C gehen der Frage nach, ob diese hohen Anforderungen durch Orientierung an Prinzipien des instruktionalen Designs ausgeglichen werden können, die im Rahmen der Theorie der kognitiven Last entwickelt wurden (vgl. Sweller et al. 1998, Sweller 2010). Die Theorie wurde bisher vor allem im den Bereichen Mathematik, computerbasiertes Lernen und Informatik eingesetzt. Eine Übertragung auf den naturwissenschaftlichen Unterricht wurde bisher nur selten vorgenommen (z. B. Scharfenberg & Bogner 2010).

C.1.4 Effektivität, Effizienz und Engagement

Effektivität ist eine rein output-orientierte Größe. Sie bezeichnet das Potential, ein gewisses Ergebnis zu erzielen, also zum Beispiel einen gewissen Lernerfolg vorweisen zu können. Im Gegensatz dazu berücksichtigt die Effizienz die erforderlichen Aufwendungen: Effizienz beschreibt das Potential, ein Ergebnis mit einem gerechtfertigten Aufwand zu erreichen, also einen gewissen Lernerfolg unter Aufwendung angemessener geistiger Anstrengung vorweisen zu können (vgl. Paas & van Merriënboer 1993).

Engagement ist die Vorbedingung für effektiven und effizienten Unterricht. Es bezeichnet das Ausmaß, in dem ein Schüler sich kognitiv und emotional am Unterricht beteiligt. Engagement hat dementsprechend zwei Ebenen. Die kognitive Ebene wird geprägt durch die geistige Anstrengung, die ein Schüler bereit ist zu investieren. Die

emotionale Ebene wird durch die Motivation bzw. Lernemotionen (Interesse, Freude, etc.) eines Schülers widergespiegelt. (e. g. Reeve et al. 2004, Skinner et al. 2008)

Teilstudie A untersucht in erster Linie die Effektivität der Unterrichtseinheit, wobei das emotionale Engagement der Schüler berücksichtigt wird. Teilstudie B geht detailliert der Frage nach individueller Effektivität und Effizienz des Unterrichts nach, während Teilstudie C das individuelle Engagement – kognitiv wie emotional – beleuchtet.

C.1.5 Die Unterrichtseinheit

Als essentieller Bestandteil der meisten Lebewesen, so auch des menschlichen Körpers, bietet sich Kochsalz als Unterrichtsinhalt an: Durch seine Lebensnotwendigkeit ist Kochsalz in unserem Alltag immer präsent – als Speisesalz im Salzstreuer, als Viehsalz bzw. Salzleckstein für Haustiere, als wichtige Zutat in Lebensmitteln. Dies gilt auch für Bereiche, die über Ernährung und Stoffwechsel hinausgehen – exemplarisch seien hier der Einsatz von Streusalz, oder das Regeneriersalz für die Spülmaschine genannt. Kochsalz ist also – über die Verankerung des Themas im Lehrplan hinaus (Lehrplanrelevanz) – nicht nur für den Schüler selbst von Bedeutung (Schülerrelevanz), sondern auch ein nicht wegzudenkender Bestandteil unseres gesellschaftlichen Alltags (Gesellschaftsrelevanz).

Beim Lernen an Stationen, einer offenen, schülerzentrierten Unterrichtsform, bildet selbständiges Arbeiten in kleinen Gruppen die instruktionale Grundlage. Den Schülern werden verschiedene Stationen mit Arbeitsmaterialien und –anleitungen angeboten, die sie in beliebiger Reihenfolge erledigen können. Dabei soll die Lehrkraft nur eine begleitende Rolle einnehmen und soweit als möglich nicht in den Unterrichtsverlauf eingreifen. Dementsprechend müssen alle Materialien und Unterlagen so beschaffen sein, dass sie von den Schülern problemlos selbständig genutzt werden können. In einem Arbeitsheft dokumentieren die Schüler ihre Ergebnisse. (z. B. Beuren & Dahm 2000)

Bei dem vorliegenden Programm wurde der Schwerpunkt auf die selbständige Durchführung von interdisziplinären Versuchen zu wichtigen Eigenschaften von Kochsalz gelegt. Durch diese Interaktivität der Stationen soll die Eigenaktivität der Schüler gefördert und der Erlebniswert durch zahlreiche ‚Mitmach-Erfahrungen‘ gewährleistet werden. Das Lernen an Stationen ist unterteilt in fünf Pflichtstationen mit Versuchen (Stationen 1 – 5), die alle Schüler vollständig bearbeiten sollen, und fünf Zusatzstationen (Stationen 6 – 10) zur Freiarbeit für schnellere Gruppen, bis alle die Pflichtstationen abgeschlossen haben. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Inhalte findet sich in Anhang. Diese Unterrichtseinheit bildet als interaktives, außerschulisches

Projekt die Grundlage für die drei Teilstudien A bis C. Sie soll außerdem im Rahmen der Arbeit in einer vierten Teilarbeit mit didaktischem, praxisorientiertem Schwerpunkt veröffentlicht und auf diese Weise Lehrkräften zugänglich gemacht werden (Teilstudie D').

C.2 Inhalte und Fragestellungen der Teilstudien A bis C

Grundlage aller Teilstudien ist die Unterrichtseinheit Kochsalz – salzig und mehr, die als interaktiver, außerschulischer Unterricht eine höchst anspruchsvolle Lernumgebung repräsentiert. Mit dieser Arbeit soll dargelegt werden, wie Unterricht in solchen anspruchsvollen Lernumgebungen optimiert werden kann. Die Einbindung außerschulischer ‚Mitmach-Projekte‘ in den Schulalltag soll dadurch gefördert werden.

In **Teilstudie A** wird der Schwerpunkt auf extrinsische Einflussfaktoren gelegt:

- (1) Ist in der neuartigen, voller Ablenkung steckenden Umgebung am Salzbergwerk sinnvolles Lernen möglich?
- (2) Bewältigen Schüler der 5. Jahrgangsstufe die Anforderungen effektiv und emotional engagiert?

Um diesen Fragestellungen nachzugehen wurden drei Gruppen von Schülern ausgewählt: die Hauptzielgruppe des Salzbergwerks sowie zwei Kontrollgruppen. Die Hauptzielgruppe bestand aus 109 Schülern der 5. Jgst., die das komplette Programm durchliefen: Sie führten die Unterrichtseinheit durch und nahmen an einer Führung durch den Besucherstollen des Bergwerks teil. Die ‚Lernort-Kontrollgruppe‘ bestand aus 112 Schülern der 5. Jgst, die an einem neutralen Lernort die Unterrichtseinheit durchführten. Diese Schüler waren also der neuen, spannenden Umgebung des Salzbergwerks nicht ausgesetzt. Die ‚Alters-Kontrollgruppe‘ bestand aus 55 Schülern der 8. Jgst, die an dem kompletten Programm am Salzbergwerk teilnahmen. Sie dienten der Überprüfung, ob das Feedback der deutlich jüngeren Fünftklässler der Hauptzielgruppe als angemessen angesehen werden konnte. Teilstudie A bietet eine Richtlinie für Lehrkräfte bei der Auswahl von Ausflugszielen.

Teilstudien B und C widmeten sich intrinsischen Faktoren:

- (1) Bietet die Theorie der kognitiven Last Richtlinien für instruktionales Design, die die hohe kognitive Last einer interaktiven, außerschulischen Lernumgebung ausgleichen können?
- (2) Welche Ansatzpunkte für eine Optimierung des instruktionalen Design gibt es, und worin liegen sie begründet?

Die Unterrichtseinheit wurde mit 276 Schülern der 5. bis 8. Jahrgangsstufen an einem neutralen Lernort, einem externen Seminarraum des örtlichen Umweltinformationszentrums, durchgeführt. Teilstudie B beschäftigt sich in erster Linie mit der Beantwortung der Frage (1) und liefert Hypothesen für Frage (2), die dann in Teilstudie C überprüft und weitergeführt wurden. Die Grundlage für Teilstudie B bildet ein ‚kognitives Abbild‘ der teilnehmenden Schüler, das mittels einer Clusteranalyse auf der Basis von Vorwissen und Lernerfolg entwickelt wurde. Die Cluster wurden im Hinblick auf Persistenz des Wissens, geistige Anstrengung während des Unterrichts und instruktionale Effizienz des Unterrichts charakterisiert. Auf Basis der Ergebnisse wurden Hypothesen zu Ansatzpunkten für eine Optimierung gebildet. Diese wurden in Teilstudie C anhand einer repräsentativen Untergruppe von 250 Schülern überprüft. Dazu wurde das kognitive und das emotionale Engagement der Schüler analysiert, die Ergebnisse wurden unter Berücksichtigung aller Variablen aus beiden Teilstudien diskutiert. Die Teilstudien B und C überprüfen die Eignung der Theorie der kognitive Last als Theorie für instruktionales Design in anspruchsvollen Lernumgebungen. Des Weiteren zeigen sie die Bedeutung sorgfältigen Designs für die Qualität des Lernens in anspruchsvollen Lernumgebungen.

C.3 Methodik: Datenerhebung und -auswertung

An **Teilstudie A** nahmen 276 Schüler teil. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die einzelnen Gruppen. Kontrolle 1 diente dazu, den Einfluss der Lernumgebung zu überprüfen: Sind die themenbezogene Umgebung am Salzbergwerk und die Führung durch den Besucherstollen a) förderlich wegen der höheren Authentizität der Erfahrung und des größeren Erlebniswertes, oder sind sie b) hinderlich, da die abwechslungsreiche Umgebung und das Zusatzprogramm der Führung vom eigentlichen Lerninhalt ablenken?

Tabelle 1. Übersicht über die Gruppen in Teilstudie A

	Zielgruppe	Kontrolle 1 (Lernort)	Kontrolle 2 (Alter)
Lernort	SBW ^a	neutral ^b	SBW ^a
Inhalt	LaSt ^c Führung	LaSt	LaSt Führung
Jgst.	5	5	8
<i>n</i>	109	112	55

^aSBW = Salzbergwerk; ^bneutral: externer Seminarraum ohne Bezug zum Thema ‚Salz‘;

^cLaSt = Lernen an Stationen

Zur Erfassung des Lernerfolges (als Indikator der Effektivität des Unterrichts) füllten die Schüler eine Woche vor dem Unterrichtstag, unmittelbar im Anschluss daran und sechs Wochen später einen Wissenstest aus. Dieser enthielt 13 *Multiple Choice*-Fragen, bei denen die Schüler unter vier Antwortmöglichkeiten die richtige auswählen mussten (Reliabilität nach Cronbach's alpha: $\alpha = 0,66$). Das emotionale Engagement der Schüler wurde mit Hilfe des Lernemotionen-Fragebogens (Laukenmann et al. 2003) und des *Intrinsic Motivation Inventory* (University of Rochester 2010) erfasst. Eine Übersicht über die eingesetzten Subskalen ist in Tabelle 2 zusehen.

Tabelle 2. Fragebögen zur Erfassung des emotionalen Engagements der Schüler in Teilstudie A

Skala	<i>n</i>	Reliabilität ^a	Beispiel
Intrinsische Motivation ^b			
Anstrengung/Wichtigkeit	5	0,55	<i>Ich habe mich sehr angestrengt.</i>
Nutzen/Brauchbarkeit	7	0,90	<i>Ich denke, das ist eine wichtige Tätigkeit.</i>
Druck/Anspannung	5	0,58	<i>Ich war in dieser Tätigkeit sehr entspannt.</i>
Lernemotionen ^c			
Interesse	4	0,83	<i>Ich möchte mehr über das Thema erfahren.</i>
Wohlbefinden	4	0,87	<i>Die Stunde hat mir Freude gemacht.</i>
Langeweile	4	0,78	<i>Die Stunde hat heute ewig gedauert.</i>
Angst	4	0,69	<i>Der Unterricht hat mir Angst gemacht.</i>

^aCronbach's alpha; ^bUniversity of Rochester 2010; ^cLaukenmann et al. 2003

Die Auswertung der Daten erfolgte mit SPSS 16.0. Da die Voraussetzung der Normalverteilung nicht gegeben war (*Kolmogorov-Smirnov*: $p < 0,05$) wurden für Vergleiche zwischen bzw. innerhalb der Gruppen nicht-parametrische Tests eingesetzt (Innergruppenvergleiche: *Wilcoxon*-Test; Zwischengruppenvergleiche: *Mann-Whitney U*-Test). Auch die Effektstärken wurden mit einer nicht-parametrischen Methode berechnet (Hedges & Olkin 1984). Die Berechnung von Effektstärken ermöglicht es, die Aussagekraft signifikanter Unterschiede zu überprüfen: Besonders wenn Decken- und Bodeneffekte auftreten kann ein Signifikanztest leicht zu falschen Schlussfolgerungen führen.

An **Teilstudie B** nahmen 276 Schüler der 5. bis 8. Jgst. teil. Sie führten die Unterrichtseinheit an einem neutralen Lernort durch, einem externen Seminarraum ohne Bezug zum Thema ‚Salz‘. Teilstudie B diente dazu, die Effektivität und Effizienz des interaktiven, außerschulischen Unterrichts zu analysieren. Dadurch sollte die

Qualität der Theorie der kognitiven Last als Richtlinie für das instruktionale Design anspruchsvoller Lernumgebungen im naturwissenschaftlichen Unterricht überprüft werden. Auch hier füllten die Schüler wieder eine Woche vor (Vortest), unmittelbar nach (Nachtest) und sechs Wochen nach dem Unterricht (Behaltenstest) den Wissenstest aus (vgl. Teilstudie A). Außerdem bewerteten sie die geistige Anstrengung (Paas 1992), die sie für jede der fünf Stationen jeweils aufgewendet hatten.

Die Schüler wurden nach den Variablen Vorwissen (Anzahl richtiger Antworten im Vortest) und Lernerfolg (Gewichtete Differenz zwischen Anzahl richtiger Antworten im Behaltens- bzw. Vortest – Scharfenberg et al. 2007) geclustert. Dabei wurde auf die hierarchische Clusteranalyse (Ward-Methode) zur Bestimmung der Clusterzahl sowie die Clusterzentrenanalyse (k-means Methode) zur Bestimmung der endgültigen Clusterzusammensetzung zurückgegriffen. Die Übereinstimmung der Lösungen beider Methoden betrug 94 % (korrigierter Pearson'scher Kontingenzkoeffizient $c_{\text{korrr}} = 0,94$). Zur Charakterisierung der Cluster wurden drei zentrale kognitive Variablen verwendet:

- Ein Vergleich von kurzfristigem (basierend auf den Ergebnissen im Nachtest) und langfristigem Wissenszuwachs (Lernerfolg; basierend auf den Ergebnissen im Behaltenstest) ermöglichte Aussagen über die Persistenz, also die Nachhaltigkeit, des erworbenen Wissens.
- Der Durchschnittswert aus der fünfmaligen Einschätzung der geistigen Anstrengung während des Unterrichts (nach jeder Station) diene als Indikator für die Schwierigkeit und Komplexität des Unterrichts.
- Die im Rahmen der Theorie der kognitiven Last entwickelte Größe ‚instruktionale Effizienz‘ (*Instructional Efficiency*; Paas & van Merriënboer 1993, van Gog & Paas 2008) gab Einblick in das Verhältnis von geistiger Anstrengung während des Unterrichts und resultierendem Lernerfolg. Diese Variable basiert auf den z-standardisierten Werten für Lernerfolg und geistige Anstrengung.

Alle Berechnungen und Auswertungen wurden mit SPSS 16.0 durchgeführt. Für die Innergruppenvergleiche von kurzfristigem und langfristigem Wissenszuwachs wurde der *Wilcoxon*-Test verwendet, da die Differenz der Variablen nicht normalverteilt war (*Kolmogorov-Smirnov*: $p < 0,05$). Im Falle der geistigen Anstrengung, mit ebenfalls nicht normalverteilten Daten, erfolgte der Vergleich der einzelnen Cluster mit der Gesamtgruppe mit Hilfe des *Mann-Whitney U*-Tests. Die Daten zur instruktionalen Effizienz waren normalverteilt (*Kolmogorov-Smirnov*: $p = 0,09$), weshalb hier der *T*-Test zum Vergleich der Cluster mit der Gesamtgruppe verwendet wurde.

An **Teilstudie C** nahmen 250 Schüler aus Teilstudie B teil. Von diesen wurden zusätzlich die Subskalen Interesse, Wohlbefinden und Angst des Lernemotionen-Fragebogens empirisch erhoben (vgl. Tabelle 2). In Teilstudie C wurden die Ergebnisse aus Teilstudie B um eine motivationale Ebene erweitert. Kognitives und emotionales Engagement der Schüler in den einzelnen Clustern sollte Aufschluss über die Ursachen für die teilweise vorhandenen Defizite im Wissenszuwachs der Schüler geben. Die Untergruppe aus 250 Schülern erwies sich mit einer Übereinstimmung von 99 % (korrigierter Pearson'scher Kontingenzkoeffizient $c_{\text{korrr}} = 0,99$) in den Ergebnissen der Clusteranalyse als repräsentativ für die Gesamtgruppe aus 276 Schülern (Teilstudie B). Folgende Variablen wurden zu der motivationalen Charakterisierung der Cluster verwendet:

- Kognitives Engagement: Basierend auf der im Rahmen der Theorie der kognitiven Last entwickelten Größe *Instructional Involvement* (Paas et al. 2005) wurden Aussagen darüber getroffen, wie intensiv die Schüler am Unterricht teilgenommen hatten. Das *Instructional Involvement* berechnet sich – ähnlich der instruktionalen Effizienz (vgl. Teilstudie B) – aus den z-standardisierten Werten für Lernerfolg und geistige Anstrengung, liefert also ebenfalls relative Aussagen bezogen auf den Gesamtdurchschnitt der Gruppe.
- Emotionales Engagement: Die Mittelwerte der eingesetzten Subskalen lieferten Einblick in die positiven Lernemotionen Interesse und Wohlbefinden sowie die negative Empfindung der Angst.

Die Datenauswertung erfolgte mit SPSS 16.0 bzw. 18.0. Für den Vergleich der Cluster mit der Gesamtgruppe wurde im Falle des kognitiven Engagements der *T-Test* verwendet (*Kolmogorov-Smirnov*: $p = 0,20$; d. h. es lagen normalverteilte Daten vor), im Falle des emotionalen Engagements der *Mann-Whitney U-Test* (*Kolmogorov-Smirnov*: $p < 0,05$; d. h. die Daten waren nicht normalverteilt).

C.4 Ergebnisse und Diskussion

Anspruchsvolle Lernumgebungen zeichnen sich durch vielschichtige, facettenreiche Anforderungen an die Schüler aus, die über den reinen Wissenserwerb hinausgehen. Von den Schülern wird erwartet, dass sie mit äußeren Einflüssen adäquat umgehen, zum Beispiel bei der Zusammenarbeit mit Mitschülern, bei der Orientierung in einer neuen Umgebung, oder bei der Einarbeitung in neue Methoden. Die Auslagerung des Unterrichts aus der Schule an einen außerschulischen Lernort erhöht die Komplexität des Unterrichts, ebenso wie ein interaktives Unterrichtskonzept. Um die Schüler nicht zu überfordern wurde der Unterricht in Anlehnung an eine Theorie für instruktionales

Design, die Theorie der kognitiven Last, aufbereitet. Zur Evaluation, also um die Qualität und Eignung des Unterrichts sicherzustellen, wurden Effektivität, Effizienz und Engagement analysiert. Des Weiteren wurde überprüft, inwieweit die Theorie der kognitiven Last – eigentlich eine Theorie vornehmlich des mathematischen und computerbasierten Unterrichts – auf naturwissenschaftliche Szenarien anwendbar ist.

In **Teilstudie A** konnte die Eignung der Unterrichtseinheit gezeigt werden. Die Hauptzielgruppe, Schüler der 5. Jgst., zeigte sehr gute Lernerfolge, hohe intrinsische Motivation und positive Lernemotionen. Das motivationale und emotionale Feedback waren außerdem signifikant besser als das der Alters-Kontrollgruppe mit Schülern der 8. Jgst., was bestätigt, dass die Ergebnisse der Hauptzielgruppe für die 5. Jgst. angemessen waren. Es ergaben sich darüber hinaus keine signifikanten Unterschiede zu der Kontrollgruppe an einem neutralen, externen Seminarraum. Das bedeutet, dass die themenbezogene Umgebung am Salzbergwerk sowie die Führung durch den Besucherstollen keine zusätzlich motivierende, aber auch keine ablenkende Wirkung auf die Schüler hatten. Für den Schulalltag bedeutet dies, dass ein sorgfältiges Design und eine theorie- und forschungsbasierte Ausarbeitung von außerschulischen Projekten wichtiger scheint, als eine spannende, authentische Lernumgebung. Dabei muss natürlich bedacht werden, dass die vorliegende Arbeit auf das explizite, lehrplanbezogene Lernen fokussiert ist, das letzten Endes für den alltäglichen Unterrichtsverlauf von Bedeutung ist. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden keine impliziten Lernprozesse – mit einem Kompetenzzuwachs (Methodenkompetenz, Sozialkompetenz, etc.) als Output – gemessen.

Die **Teilstudien B und C** konzentrierten sich auf die intrinsischen Eigenschaften der Unterrichtseinheit. Die Schüler wurden nach der individuellen Effektivität des Unterrichts geclustert. Dies führte zur Ableitung von sieben Clustern, dargestellt in Abbildung 1, die sich in den Variablen ‚Vorwissen‘ und ‚Lernerfolg‘ unterschieden.

Ein Vergleich bezüglich der Persistenz des Wissens und der instruktionalen Effizienz ergab drei Cluster (II, IV, V) mit durchweg positiven Resultaten. Alle anderen Cluster wiesen signifikante Vergessensraten auf, darunter je zwei Cluster (I, III bzw. VI, VII) mit durchschnittlicher bzw. signifikant unterdurchschnittlicher instruktionaler Effizienz und eher niedrigem bzw. überhaupt keinem Lernerfolg.

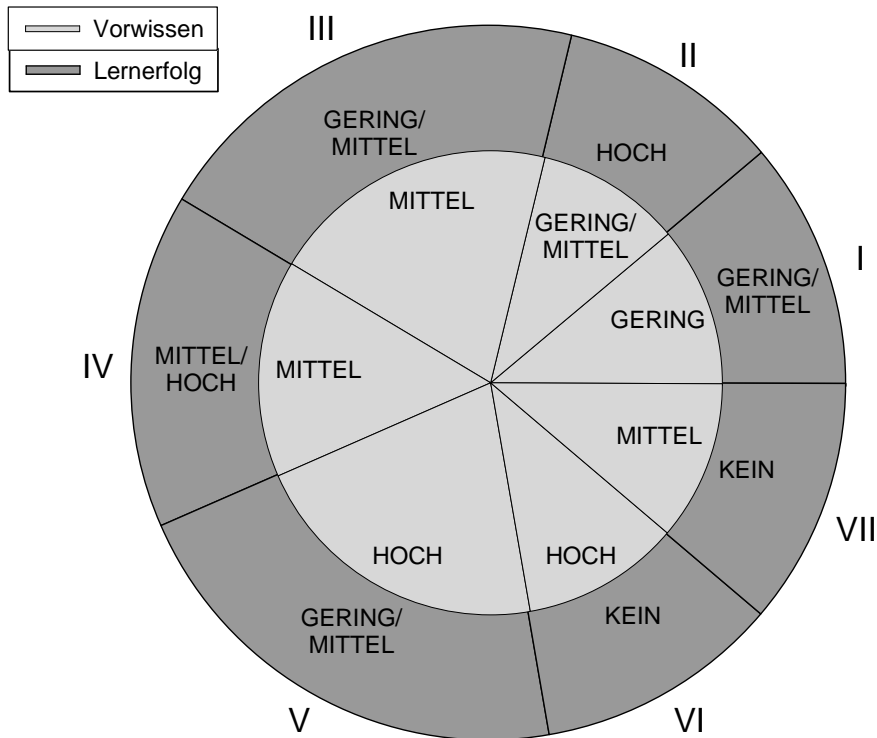


Abbildung 1. Zusammensetzung der Cluster individueller Effektivität; Die Größe der Kreissegmente gibt die Anteile der Cluster an der Gesamtgruppe wieder. In den grauen Bereichen stehen Angaben zum Ausmaß des Vorwissens bzw. Lernerfolgs.

Durchschnittliche Effizienz (Cluster I und III) bedeutet, dass der Lernerfolg bezogen auf die geistige Anstrengung angemessen ist. Bei dem eher niedrigen Lernerfolg der Cluster I und III stellt sich daher die Frage, wieso die Schüler nicht mehr geistige Anstrengung investierten, was ja vermutlich eine Verbesserung des Lernerfolgs zur Folge gehabt hätte. Für dieses Szenario sind zwei mögliche Ursachen bekannt: Die Schüler wollten sich nicht mehr anstrengen (motivationale Gründe) oder die Schüler wussten nicht, wie bzw. wofür sie mehr geistige Anstrengung hätten aufwenden sollen (instruktionale Gründe). Für die Defizite dieser Schüler ist also entweder zu geringe Motivation verantwortlich, oder aber zu wenig Anleitung während des Unterrichts. Das kognitive Engagement in diesen beiden Clustern war durchschnittlich, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Schüler motiviert waren. Um sich zu verbessern hätten sie also vermutlich mehr Anleitung benötigt. Hier könnte ein *split Attention*-Effekt (Sweller et al. 1990, Sweller 2010) als Erklärung dienen: Der gleichzeitige Umgang mit den Materialien und Unterlagen erforderte so viel kognitive Kapazität, dass Lernprozesse vernachlässigt wurden. Dies wird durch das emotionale Engagement innerhalb der Cluster bestätigt: Interesse und Freude der Schüler zeigten keine signifikanten Abweichungen, während die Angst signifikant erhöht war. Dies kann durch Unsicherheit der Schüler bezüglich der Lerninhalte/Vorgehensweisen/etc. erklärt

werden (Clark et al. 2006), was wiederum bestätigt, dass die Schüler zu sehr mit Koordinationsaufgaben beschäftigt waren und von mehr Anleitung profitiert hätten.

Unterdurchschnittliche Effizienz (Cluster VI und VII) bedeutet, dass der Lernerfolg im Verhältnis zur geistigen Anstrengung zu – oder zumindest relativ – niedrig ist. Dies legt nahe, dass die Schüler kognitive Entlastung, also ebenfalls mehr Anleitung, gebraucht hätten, um sich zu verbessern. Für Cluster VII ist diese Erklärung einsichtig: Ähnlich den Clustern I und III, war das kognitive Engagement von Cluster VII durchschnittlich, und die Angst erhöht. Die unterdurchschnittliche Effizienz zusammen mit der erhöhten Angst kann als Hinweis auf einen hemmenden Effekt der Angst auf die kognitive Leistungsfähigkeit (Eysenck & Calvo 1992) gesehen werden.

Cluster VI jedoch zeigte, neben ebenfalls erhöhter Angst, unterdurchschnittliches kognitives Engagement und weniger Freude am Unterricht. Es liegt also nahe, dass diese Schüler nicht motiviert waren, am Unterricht teilzunehmen. Dieses Cluster wies außerdem sehr hohes Vorwissen auf. Möglicherweise schätzten die Schüler aus Cluster VI also den Unterricht als zu einfach ein und hatten Schwierigkeiten, neues Wissen zu entdecken. Dieses Phänomen ist als *Expertise reversal*-Effekt bekannt (Kalyuga et al. 2003, Schnotz 2010, Sweller 2010): Schüler mit hohem Vorwissen sind unter Umständen so sehr damit beschäftigt, für sie überflüssige – da bereits bekannte – Informationen zu verarbeiten, dass die eigentlichen Lernprozesse in den Hintergrund treten bzw. die Schüler keine Motivation mehr haben, sich mit den Lernmaterialien auseinanderzusetzen.

Während also etwa die Hälfte der Schüler sehr gute Ergebnisse erzielte, war gut ein Zehntel der Schüler nicht motiviert – vermutlich wegen des hohen Vorwissens, das Lernprozesse erschwerte. Die restlichen Schüler waren zu sehr damit beschäftigt, die verschiedenen Informationsquellen – Arbeitsanleitungen, Arbeitsheft, Materialien – zu integrieren und zu verarbeiten. Sie hätten mehr Anleitung benötigt, um ihre Leistung zu verbessern.

C.5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit dieser Arbeit soll ein Beitrag zur Verbesserung außerschulischer Unterrichtsprojekte geleistet werden. Im Folgenden sollen unter Bezugnahme auf die Forschungsfragen aus Kapitel C.2 mögliche Konsequenzen für den Unterricht bzw. zukünftige Forschung genannt werden.

- Ist in der neuartigen, voller Ablenkung steckenden Umgebung am Salzbergwerk sinnvolles Lernen möglich? Bewältigen Schüler der 5. Jahrgangsstufe die Anforderungen effektiv und emotional engagiert?

Die Schüler zeigten sehr gute Lernerfolge und sehr positive intrinsische Motivation/Lernemotionen. Es konnte gezeigt werden, dass die Ausgestaltung des Unterrichts an sich dabei größere Bedeutung hat als die Umgebung, in der der Unterricht stattfindet. Dieses Ergebnis ist für die Auswahl von Ausflugszielen von erheblicher Bedeutung.

- Bietet die Theorie der kognitiven Last Richtlinien für instruktionales Design, die die hohe kognitive Last einer interaktiven, außerschulischen Lernumgebung ausgleichen können? Welche Ansatzpunkte für eine Optimierung des instruktionalen Design gibt es, und worin liegen sie begründet?

Die Theorie der kognitiven Last hat sich bis auf eine Schwachstelle als sehr geeignet für das Design von Unterricht in anspruchsvollen Lernumgebungen erwiesen. Auftretende Defizite sind vornehmlich auf zu geringe Anleitung zurückzuführen. Zu diesem Bereich gibt es in der Theorie der kognitiven Last bisher nur für das computerbasierte Lernen spezifische Handlungsoptionen (z. B. Koedinger & Alevan 2007, Moreno 2004). Diese sind allerdings nicht auf den naturwissenschaftlichen Bereich übertragbar. Zukünftige Forschung sollte die Ausarbeitung von Richtlinien für adäquate Anleitung in naturwissenschaftlichen Lernszenarien zum Ziel haben, um die Theorie der kognitiven Last für eine Anwendung im naturwissenschaftlichen Bereich zu optimieren. Die Bedeutung adäquater Anleitung (*Guidance*) wurde bereits mehrfach betont (z. B. Kirschner et al. 2006, Klahr and Nigam 2004, Moreno 2004), aber in der didaktischen Forschung häufig vernachlässigt (vgl. Lunetta et al. 2007). Natürlich ist es ein Ziel des Schulunterrichts die Kompetenz zu selbständigem, entdeckendem, kreativem Lernen zu vermitteln. Andererseits dürfen dabei die Fähigkeiten der Schüler sowie das Anliegen der Lehrkräfte, die Fachkompetenzen ihrer Schüler voranzubringen, nicht außer Acht gelassen werden.

Mit dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass effektives und effizientes Lernen in anspruchsvollen – außerschulischen und zugleich interaktiven – Lernumgebungen möglich ist. Einen hohen Stellenwert nimmt dabei die Orientierung an fundierten Theorien und aktuellen Forschungsergebnissen ein, was sich als extrinsischen Faktoren übergeordnet erwiesen hat. Die Theorie der kognitiven Last hat sich als Richtlinie für das instruktionale Design bewährt. Lediglich die Spezifikation adäquater Anleitung im naturwissenschaftlichen Bereich bedarf zukünftiger Forschung.

D Literaturverzeichnis der Zusammenfassungen

- Abell, S. K., & Ledermann, N. G. (Eds.). (2007). *Handbook of Research on Science Education*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Beuren, A., & Dahm, M. (2000). Lernen an Stationen. *Unterricht Biologie*, 24(259), 4-9.
- Burkart, R. (2002). *Kommunikationswissenschaft - Grundlagen und Problemfelder*. Wien: Böhlau Verlag.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(3), 293-332.
- Clark, R. E., Howard, K., & Early, S. (2006). Motivational challenges experienced in highly complex learning environments. In J. Elen & R. E. Clark (Eds.), *Handling complexity in learning environments: theory and research* (pp. 27-42). Amsterdam: Elsevier.
- Eysenck, M. W., & Calvo, M. G. (1992). Anxiety and performance: the processing efficiency theory. *Cognition and Emotion*, 6(6), 409-434.
- Falk, J. H., Scott, C., Dierking, L. D., Rennie, L. J., & Jones, M. C. (2004). Interactives and visitor learning. *Curator*, 47, 171-198.
- Griffin, J., & Symington, D. (1997). Moving from task-oriented to learning-oriented strategies on school excursions to museums. *Science Education*, 81, 763-779.
- Guisasola, J., Morentin, M., & Zuzá, K. (2005). School visits to science museums and learning sciences: a complex relationship. *Physics Education*, 40(6), 544-549.
- Hedges, L., & Olkin, I. (1984). Nonparametric estimators of effect size in meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 96, 573-580.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88, 28-54.
- Jäckel, M. (1995). Interaktion. Soziologische Anmerkungen zu einem Begriff. *Rundfunk und Fernsehen*, 4, 463-476.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38, 23-31.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experimental, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction - effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15, 661-667.
- KMK - Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den mittleren Bildungsabschluss - Beschluss vom 16.12.2004*. München: Wolters Kluwer Deutschland GmbH.

- KMK. Empfehlung der Kultusministerkonferenz zur Stärkung der mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bildung.
http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2009/2009_05_07-Empf-MINT.pdf (Letzter Zugriff Juli 2010).
- Koedinger, K. R., & Alevan, V. (2007). Exploring the assistance dilemma in experiments with cognitive tutors. *Educational Psychology Review*, 19, 239-264.
- Konhäuser, S. (2004). *Lernen in Science Centers - Mensch und Mathematik*. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Laukenmann, M., Bleicher, M., Fuß, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, P., & von Rhöneck, C. (2003). An investigation of the influence of emotional factors on learning in physics instruction. *International Journal of Science Education*, 25(4), 489-507.
- Lunetta, V. N., Hofstein, A., & Clough, M. P. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: an analysis of research, theory, and practice. In S. K. Abell & N. G. Ledermann (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 393-442). Mahaw, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- McLean, K. (2005). *Planning for people in museum exhibitions*. Washington: Association of Science-Technology Centers.
- Moreno, R. (2004). Decreasing cognitive load for novice students: effects of explanatory versus corrective feedback in discovery-based multimedia. *Instructional Science*, 32, 99-113.
- Orion, N. (1993). A model for the development and implementation of field trips as an integral part of the science curriculum. *School Science and Mathematics*, 93(6), 325-331.
- Orion, N., & Hofstein, A. (1994). Factors that influence learning during a scientific field trip in a natural environment. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), 1097-1119.
- Paas, F., & van Merriënboer, J. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors*, 35(4), 737-743.
- Paas, F. G. W. C. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: a cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429-434.
- Paas, F. G. W. C., Tuovinen, J. E., van Merriënboer, J. J. G., & Darabi, A. A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: optimizing learner involvement in instruction. *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 25-34.
- Reeve, J., Jang, H., Carrell, D., Jeon, S., & Barch, J. (2004). Enhancing students' engagement by increasing teachers' autonomy support. *Motivation and Emotion*, 28(2), 147-169.
- Rennie, L. J. (1994). Measuring affective outcomes from a visit to a science education centre. *Research in Science Education*, 24, 261-269.
- Rennie, L. J., & McClafferty, T. P. (1996). Science centres and science learning. *Studies in Science Education*, 27, 53-98.

- Scharfenberg, F.-J., & Bogner, F. X. (2010). A new two-step approach for hands-on teaching of gene technology: effects on students' activities during experimentation in an outreach gene technology lab. *Research in Science Education* (in press).
- Scharfenberg, F.-J., Bogner, F. X., & Klautke, S. (2007). Learning in a gene technology laboratory with educational focus - results of a teaching unit with authentic experiments. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, doi 10.1007/s11165-010-9177-2.
- Schnotz, W. (2010). Reanalyzing the expertise reversal effect. *Instructional Science*, 38(3), 315-323.
- Skinner, E., Furrer, C., Marchand, G., & Kindermann, T. (2008). Engagement and disaffection in the classroom: part of a larger motivational dynamic? *Journal of Educational Psychology*, 100(4), 765-781.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22, 123-138.
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P., & Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 176-192.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- University of Rochester. Self-Determination Theory – an approach to human motivation & personality. http://www.psych.rochester.edu/SDT/measures/IMI_description.php (Letzter Zugriff: Februar 2010).
- van Gog, T., & Paas, F. (2008). Instructional efficiency: revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist*, 43(1), 16-26.
- van Merriënboer, J. J. G., Kester, L., & Paas, F. (2006). Teaching complex rather than simple tasks: balancing intrinsic and germane load to enhance transfer of learning. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 343-352.

E Teilarbeiten

E.1 Liste der Publikationen und Darstellung des Eigenanteils

- A** Meissner, B. & Bogner, F. X. (2010)
Interactive workstations for students enrich the science education value of a salt mine as *Science Center*
Journal of Chemical Education
(in press)
- B** Meissner, B. & Bogner, F. X. (2010)
Towards cognitive load theory as a guideline for instructional design in heuristic science education
Instructional Science
(submitted)
- C** Meissner, B. & Bogner, F. X. (2010)
Confirmation of suitable guidance as an important premise in heuristic out-of-school science education
Cognition and Instruction
(submitted)

Eigenanteil

Der allen drei Teilarbeiten A, B und C zugrundeliegende Unterricht wurde von mir in theoretischer Ableitung konzipiert und in die Praxis umgesetzt. Der Wissenstest zu den Inhalten der Unterrichtseinheit wurde von mir entwickelt, ebenso wie die Daten ausschließlich von mir analysiert wurden. Die drei Teilarbeiten A, B und C wurden von mir als Erstautor konzipiert, verfasst und nach entsprechender Diskussion überarbeitet.

E.2 Teilarbeit A

Meissner, B. & Bogner, F. X. (2010)

Interactive workstations for students enrich the science education value of a salt mine
as *Science Center*

Journal of Chemical Education

(in press)

Interactive workstations for students enrich the science education value of a salt mine as *Science Center*

Barbara Meissner* and Franz X. Bogner

Chair of Biology Education, Z-MNU (Center of Maths and Science Education),
University of Bayreuth, D-95447 Bayreuth, * barbara.meissner@uni-bayreuth.de

Although teachers in principle are prepared to make use of science centers, such excursions often fail to facilitate learning processes. Therefore, it is necessary to improve the link between science centers and schools. The design and evaluation of valuable outreach projects may enhance students' out-of-school science learning.

In our study, we developed a curriculum-based lesson for 5th graders as part of the educational program of a salt mine as out-of-school learning site. The complete program comprises a guided tour along the visitors' gallery and simple experiments about important physical and chemical properties of salt (NaCl). We evaluated the impact of students' previous knowledge/experiences and of the surroundings at the learning setting itself, considering students' cognitive and affective outcomes. The results revealed the appropriateness of the lesson for 5th graders with regard to its difficulty and design: The learning setting provided premises for substantial learning processes and positive feedback. Yet, students' outcomes were independent on the setting: students did not benefit from the subject-related surroundings at the salt mine themselves. These results encourage the careful development and usage of learning settings that foster out-of-school science education.

Keywords: Elementary / Middle School Science, Chemical Education Research, Public Understanding / Outreach, Hands-On Learning / Manipulatives, Inquiry-Based / Discovery Learning

Science centers intend to communicate scientific knowledge through interactive exhibits (1). The first science center, San Francisco's Exploratorium, was founded in 1969 by Frank Oppenheimer, and by 2001, nearly 1500 science centers existed all over the world (2). There are successful integrations of the field of chemistry in out-of-school learning settings (3). Yet, the field of chemistry still seems to be neglected (4). A teacher's main motivation for a visit to a science center seems to lie in supporting curricular topics and in enriching classroom lessons (5). However, such excursions often do not correspond with educational standards or current research findings (6). Furthermore, empirical studies reveal that basic premises often fail to facilitate learning processes: For instance, Griffin (7) identified - among other aspects - a neglect of students' physical needs during excursions as well as poor information provided for the teacher. Similar conditions have also been documented in other studies that often found low cognitive outcomes (8). Thus, it is necessary to improve the linkage between science centers and schools. Contents of outreach projects should be adjusted to curricula (9) instead of just entertaining students – which is an often voiced criticism (10). As Griffin (11) asserts: "The challenge is to formulate more appropriate ways of using museums for learning, and to do this within the existing constraints of time, expense and experience".

To facilitate learning processes in museums, some factors are well-known that should generally be considered. First, the "novelty space" (12) should be reduced which means that students should get adequate preparation for the visit at a cognitive, geographic, and psychological level. This consideration of potential novelty effects is of most relevance for an optimization of students' cognitive outcome (13). Second, there should be a well-balanced mixture of controlled and free-choice elements in scheduling

a visit (14). Additionally, Orion (15) points to some other features that out-of-school learning should possess, for instance, a process-oriented hands-on approach or activities inappropriate for classroom learning.

The educational program presented in this article is an example of a successfully established school–science center cooperation. Considering the above-mentioned criteria, we developed a curriculum-based lesson for 5th graders in a salt mine as an out-of-school learning site. The lesson comprises five experiments about important physical and chemical properties of salt (NaCl) and is part of the educational outreach program of the salt mine. The complete program provides a guided tour along the visitors' gallery in addition to the lesson. Some initial problems that can come along with designing an outreach project, and how to solve them (e.g. to use only “very simple equipment”), are described by Silberman and Trautmann (16).

While by now, the educational value of science centers is no longer in question (17), the main aim of the present study was to evaluate potential impacts of well-known influence factors at out-of-school learning settings on students' cognitive and affective outcomes. On the basis of literature research, we could specify four domains of influence factors (table 1). They are based on two models: first, the Contextual Model of Learning – formerly known as the Interactive Experience Model – that describes a personal, a socio-cultural, and a physical context (18; table 1–A). Second, Orion's (19; table 1-B) splitting of influence factors into teaching factors, field-trip factors, and student factors.

Table 1. Influence factors at out-of-school learning settings

A (18)		B (19)	
Falk 1992 & 2004: Contextual Model of Learning		Orion 1994: Influence factors	
		Examples	
1	Personal context	Student factors	Motivation, previous knowledge
2	Socio-cultural context	-	Mediation, cultural background
3	Physical context	Field trip factors	Exhibit design, space novelty
4	-	Teaching factors	Methods, curriculum

In accordance with both models, the present study examined the impact of students' previous knowledge/experiences (personal context/student factors) and of the surroundings at the learning setting (physical context/field trip factors). 5th-grade students attending the whole educational outreach program at the salt mine were the main target group. A control group comprising 8th-grade students covered one aspect within the domain of personal context: Due to their age, we expected these students as more experienced in autonomous as well as out-of-school learning, and to know more about the topic "salt". Additionally, another 5th-grade student sample accomplished the experiments of the lesson at a different out-of-school learning setting, an external seminar room without supplementary program. Thus, we intended to estimate an aspect within the domain of physical context, specifically the impact of the subject-related physical surroundings and the guided tour at the salt mine.

Our research questions were: (i) Do the surroundings have any effect on cognitive or affective outcome of a curriculum-based out-of-school lesson? (ii) Are 5th-grade students experienced enough to handle such a learning task effectively, or is it more appropriate for older students?

We chose multiple-choice questionnaires to quantify cognitive outcome: As answers were predefined, results were easier to quantify and to analyze compared to open questions, for instance. We measured affective outcome in terms of common state emotions (interest, well-being, boredom, and anxiety), and intrinsic motivation (effort/importance, pressure/tension, and value/usefulness), using published questionnaires (20, 21).

EXPERIMENTAL DETAILS

Program

First, students get an introduction to the physical setting, the procedures and practices required during the visit, and the schedule. The program itself is a mixture of:

- an experimentation stage as a lesson: students autonomously perform simple experiments in small groups.
- a structured guided tour: students encounter a variety of themed stages along the visitors' gallery, remaining some minutes at each until the guide proceeds.

Experimentation stage - Context

In the following, we will outline the school context. Afterwards, we will refer to possible deficiencies mentioned in the introduction, and how we tried to avoid them.

The workstations are adjusted to state curricula (Bavaria, Germany) of both school types involved (low and high stratification level). Main contents of the curricula are to introduce students to performance of experiments/appropriate procedures and to impart knowledge about, for instance, materials and material properties. Additionally, the workstations refer to the German National Educational Standards and to the German Recommendations for Mathematic-Scientific-Technical Literacy (MINT) (22). The educational standards define skills that students should acquire during their school time (e.g. to apply methods of investigation or to communicate in a properly task-

oriented way). The recommendations foster, for instance, out-of-school education and interdisciplinary teaching (e.g. to combine physical, chemical, and biological aspects). We designed the experimentation stage according to current educational theories, especially considering the cognitive load theory (23) and the moderate constructivism (24). All teachers of participating classes receive information well in advance (e.g. about specific contents and schedule). During the experimentation stage, seats for all students and accompanying teachers are available, so that students can choose to work at their working benches sedentary or standing. The teacher is free to insert a break of about 10 to 15 minutes to ensure students' welfare.

Experimentation stage – Procedure and content

At the experimentation stage, five interactive workstations provide simple experiments illustrating important properties of NaCl. Students are asked to perform the experiments autonomously in small groups in optional order. Instructional guidelines at each workstation provide step-by-step instructions to ensure students' successful performance as most of them are rather new to performing hands-on activities autonomously. Additionally, each student has an illustrated workbook. Its tasks foster factual, procedural, and conceptual knowledge (25). The tasks ask students first, to perform the experiments by following the instructional guidelines and to record the results (procedural knowledge), second, to clarify the effect behind their observations and results (conceptual knowledge), and, third, to make a connection to the students' field of experience (factual and/or conceptual knowledge). To enable a careful handling of tasks, we offered prestructured performance requirements, such as filling in tables or clozes.

Workbook tasks and instructional guidelines are available as supplemental material of the online issue.

The lesson covers the following issues:

- Freezing point depression: Using binoculars, the students are able to observe that ice is melting more quickly when they put salt on it. By comparing photos of differently treated cress, they recognize that road salt may harm plants.
- Electric conductivity: The students monitor electric conductivity of pure salt, distilled water, and salt-water, using a simple circuit (battery, meter, and electrodes). A connection to nervous conduction is made.
- Endothermic solvation processes: The students measure the temperature of ice before and after adding salt. They calculate the difference and recognize a strong decrease.
- Density increase: Using a magnetic stirrer, the students prepare brine out of salt and water. They recognize increased buoyancy by putting an egg into the brine and into tap water. The term *density* is introduced on a very basic level.
- Osmotic activity (demonstrated experiment): A short film shows two cucumber slices, one of them covered with salt. Progress is shown in fast motion. Afterwards, a short animation explains the effect, that salt extracts water from cells. The students are asked to transfer this effect on the situation of a shipwrecked person.

As implied by these descriptions, each experiment introduces a common laboratory device (binoculars, circuit, digital thermometers, magnetic stirrer, and computer). Students have the opportunity to get familiar with these devices and to use them in typical applications in scientific working. For instance, binoculars show things amplified, a magnetic stirrer can dissolve solids quickly.

The learning goals are basically identical for each workstation: Students should be able to remember the effects, the applications addressed by workbook tasks, and the devices and what they are used for. They should understand the main outcomes of a workstation, and they should be able to summarize what they have done. Thus, the

workstations aim to facilitate further execution and implementation of similar experiments. (26)

Guided tour

Either before or after the experimentation stage, students join a tour along the visitors' gallery. They wear special suits and go down to the gallery on a mountain railway. A guide leads the students along the different stages of the visitors' gallery informing about important facts and interesting details about historic and current salt-mining. At each stage, sufficient time is provided to look around and engage with the exhibits presented. The tour provides simple hands-on activities as well as for instance watching a short film, sliding down the miners' slide, and crossing a lake of brine.

The exhibits of the guided tour do not reinforce the experimentation stage. They rather inform about, for instance, machinery and tools necessary for salt-mining, the process of salt-mining, and rock salt deposits underground. The exhibits are intended to raise students' general curiosity and interest rather than to provide curriculum-based knowledge.

Instruments and Calculations

We did all calculations with SPSS 16.0. Using Cronbach's alpha, we calculated reliability of the scales. Cronbach's alpha scores between 0 and 1. Values of more than 0.7 are considered good reliability while even scores below 0.6 still are appropriate for between-group comparisons (27) as done in this study.

Cognitive outcome

A knowledge test (KT) was applied three times: one week before the visit (KT-1), immediately after the visit on-site (KT-2), and about 6 weeks after the visit (KT-3). For each application, the order of the questions as well as of the distractors was varied to prevent test effects. The knowledge test comprised 13 multiple-choice items (alpha =

0.66) that referred to the interactive workstations. They assessed conceptual and procedural knowledge representing the main predicates of the workbook tasks and the implemented devices (see table 2). The questions covered the contents of all five workstations (workstations 1, 4, 5: 3 questions; workstation 2: 4 questions; workstation 3: 1 question).

Table 2. Examples of knowledge test items

Knowledge	Example
Conceptual	Which fo these conducts electricity the best? Pure salt / Pure water / Rock salt / Saltwater [correct]
Procedural	What are binoculars used for? To: see things amplified [correct] / dissolve substances / measure indoor and outdoor temperature simultaneously / gauge objects exactly

To calculate cognitive outcome, we compared the results of the three knowledge tests: 'KT-2 score minus KT-1 score' was used for short-term learning outcome, 'KT-3 score minus KT-1 score' represented long-term learning outcome. The decrease rate was estimated by the difference of KT-3 and KT-2 scores.

Affective outcome

Along with KT-2 (i.e. immediately after the visit on-site), we measured affective outcome. We used three subscales of the Intrinsic Motivation Inventory (28), and four subscales of the state-emotions questionnaire (29). Table 3 gives an overview of the subscales. As most of the participating students were quite young (10-12 years), we applied rather short Likert scales (Intrinsic Motivation Inventory: 5-point, ranging from *completely right* to *not at all right*; state-emotions questionnaire: 4-point, ranging from

completely right to not right). Students were asked to consider the whole day experience when filling in the questionnaires.

Table 3. Questionnaires applied to measure students' affective outcome

Scale	Items	Reliability (Cronbach's alpha)	Example
Intrinsic Motivation ^a			
Effort/Importance	5	0.55	<i>I put a lot of effort into this.</i>
Value/Usefulness	7	0.90	<i>I think this is an important activity.</i>
Pressure/Tension	5	0.58	<i>I felt very tense while doing this.</i>
State emotions (28)			
Interest	4	0.83	<i>I want to hear more about that topic.</i>
Well-being	4	0.87	<i>I enjoyed the lesson.</i>
Boredom	4	0.78	<i>The lesson today took ages.</i>
Anxiety	4	0.69	<i>The lesson frightened me.</i>

^aFull subscales are available online (28)

Calculations

Due to non-normally distributed data, we applied non-parametric tests to analyze the results. We chose the *Friedman* and the *Wilcoxon* test for intra-group comparisons of knowledge test results to rate the differences of KT-1, -2 and -3 scores of each subsample separately. For between-group comparison, we chose the *Kruskal-Wallis* and the *Mann-Whitney U* test to estimate differences between corresponding data sets of the three subsamples. Except for the case of the *Kruskal-Wallis* test (standardized parameter χ^2), Z always is the standardized parameter for comparison, and p the value of significance. Throughout all analyses, $p = 0.05$ was set as significance level, that is all tests resulting in $p < 0.05$ confirmed statistically significant differences.

We estimated non-parametric effect size γ^* following the method of Hedges and Olkin (30). Medium and strong effects were defined by $\gamma^* > 0.5$ and 0.8 , respectively. Values less than 0.2 corresponded to negligible effects (31).

Design

The study design included three subsamples, defined according to learning site and age. Table 4 gives a summary of the design. 109 students of the 5th grade ($M_{age} = 11$, $SD = 0.6$) were part of the main treatment group (T): They visited the salt mine and took part in the complete program, that is the experimentation stage and the guided tour. The learning-place control group (C-L) comprised 112 5th-grade students ($M_{age} = 10$, $SD = 0.6$) who took part in an identical out-of-school experimentation stage at an external seminar room of a local environmental center without any links to the salt mine or the topic "NaCl", except the workstations themselves. The purpose of C-L was to examine the impact of the subject-related surroundings at the salt mine. 55 students of the 8th grade ($M_{age} = 15$, $SD = 0.6$) took part in the age control group (C-A) to evaluate novelty effects due to differences in knowledge and experience. They participated in the same program as the treatment group. The purpose of C-A was to assess if the younger students of T might have been overchallenged by the program and might consequently have been, for instance, more frightened than the students of C-A. Additionally, we analyzed a test-effect control group of 30 students ($M_{age} = 13$, $SD = 0.6$) who completed only KT-1 followed by KT-2 one week apart with no treatment to take into account a possible increase in knowledge due to retesting.

Table 4. Design of the study

	Treatment group T	Control group C-L	Control group C-A
<i>n</i>	109	112	55
<i>Physical setting</i>	Salt mine	Off-site seminar room	Salt mine
	Guided tour	-	Guided tour
<i>Content</i>	Interactive workstations	Interactive workstations	Interactive workstations
<i>Grade</i>	5	5	8

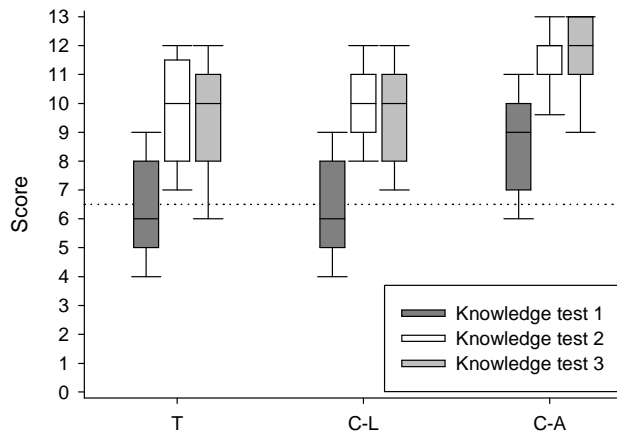
RESULTS

Cognitive outcome

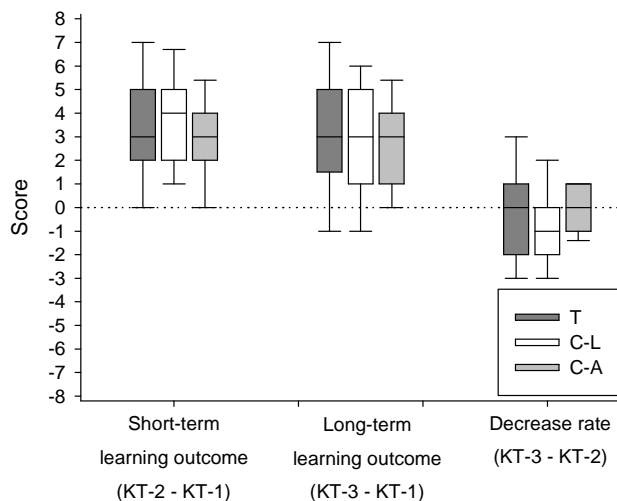
Fig. 1 illustrates knowledge-test results and cognitive outcome of each T (Treatment group: 5th graders at the salt-mine, i. e. interactive workstations plus guided tour), C-L (Learning-place control group: 5th-graders at the off-site seminar room, i. e. only interactive workstations) and C-A (Age control group: 8th-graders at the salt-mine). We analyzed differences between knowledge tests KT-1, KT-2, and KT-3 of each subsample separately (intra-group comparison; fig. 1-A) to estimate the amount and persistence of cognitive outcome. Additionally, we analyzed cognitive outcome of the groups T, C-L, and C-A (between-group comparison; fig. 1-B) to compare the different subsamples.

KT-1 and KT-2 scores of T differed significantly, as did the corresponding scores of C-L and C-A (T: $Z = -7.982$, $p < 0.001$; C-L: $Z = -8.773$, $p < 0.001$; C-A: $Z = -5.635$, $p < 0.001$). Comparison of KT-2 and KT-3 scores revealed significant differences only for the C-L subsample ($Z = -3.805$, $p < 0.001$), but nonparametric effect-size affirmed a

quite small effect ($\gamma^* = 0.30$). KT-2 and KT-3 results of C-A pointed to a ceiling effect as scores reached the upper limit of the 13-items knowledge test. The distribution of frequencies showed that 23.6 % of the C-A students reached the maximum score of 13 in KT-2, as did 29.1 % of the C-A students in KT-3. C-A showed significantly higher preknowledge scores (KT-1; cf. fig. 1-A) than T ($Z = -6.491$, $p < 0.001$). However, as illustrated in fig. 1-B, there were no significant differences between T, C-L, and C-A in short- and long-term learning outcome (KT-2 and KT-3 each minus KT-1) as well as in the decrease rate (KT-3 minus KT-2). Intra-group comparison of knowledge test results of the test-effect control group – who only took KT-1 and KT-2 with no treatment – showed no significant differences between KT-1 and KT-2. That is there was no cognitive outcome if students who did not take part in the program repeatedly filled in the knowledge tests.



A - Intra-group comparison



B - Between-group comparison

Figure 1. Knowledge-test results (A) and cognitive outcome (B) of T, C-L, and C-A

Affective outcome

Fig. 2 shows the results of both the state-emotions (fig. 2-A) and the intrinsic motivation (fig. 2-B) questionnaire. Anxiety scores (cf. fig. 2-A) were very low for all of the three subsamples T, C-L, and C-A, even a floor effect occurred: 85.3 % (T), 90.1 % (C-L), and 89.1 % (C-A) revealed mean scores lower than 3.00. Boredom scores of T and C-L were similarly low whereas well-being scores of T and C-L even reached the upper limit of the scale. That is, well-being scored very high. There were statistically significant differences in anxiety scores of both T and C-L ($Z = -2.161$, $p = 0.031$), and T and C-A ($Z = -1.967$, $p = 0.049$) but non-parametric effect size was very low in both cases ($\gamma^* = 0.17$). C-A showed significantly lower positive feedback on interest ($Z = -$

4.659, $p < 0.001$) and well-being ($Z = -3.669$, $p < 0.001$), but more boredom ($Z = -3.148$, $p = 0.002$). The subscale pressure/tension yielded similar results for all of the three subsamples (cf. fig. 2-B), as did the subscales effort/importance and value/usefulness comparing T and C-L. C-A again showed significantly lower positive feedback (effort/importance: $Z = -4.481$, $p < 0.001$; value/usefulness: $Z = -3.120$, $p = 0.002$).

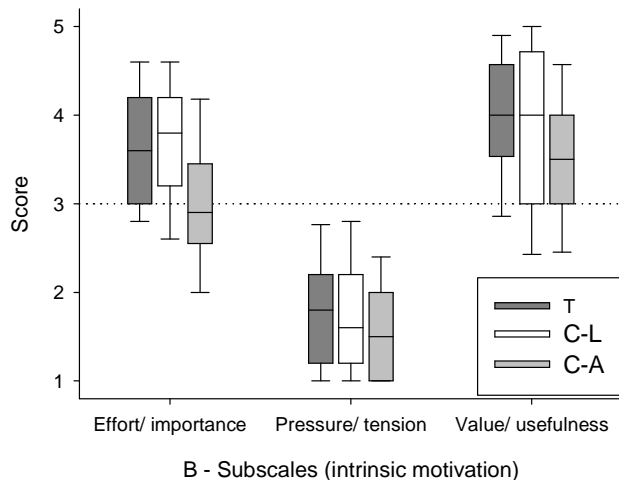
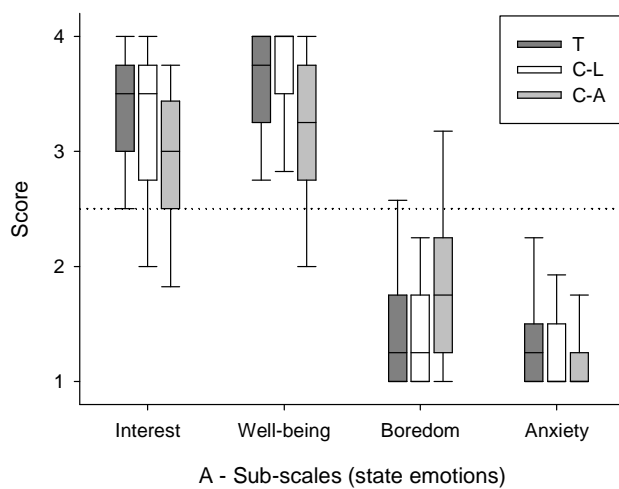


Figure 2. Results of the state-emotions (A) and the intrinsic motivation (B) questionnaire

DISCUSSION

The students of the treatment group T, who accomplished the experimentation stage and the guided tour at the salt mine, showed overall positive cognitive and affective outcome. They rated the lesson as interesting, important, and useful. Especially their well-being scored very high, and it was obvious that students did not feel bored, frightened, or pressurized at all. This altogether confirms the hypothesis that the program provided at the salt-mine is appropriate for 5th grade students with respect to difficulty and design. We could exclude test effects caused by simply filling in questionnaires without any treatment.

We compared the results of T with the results of two control groups, a learning-place control group C-L (5th-graders; neutral out-of-school seminar room) and an age control group C-A (8th-graders; salt-mine). As the students of C-L and T showed no statistically significant differences in cognitive as well as affective outcome, we can assume that the tour along the visitors' gallery does not harm but also does no good to students' learning processes. This missing positive impact of the subject-related surroundings and the guided tour is substantiated by the similarly low pressure/tension- and anxiety-scores among all of the subsamples T, C-A, and C-L, independently on learning site and age. The arrangement and the schedule therefore seem to provide appropriate learning conditions, which confirms the findings of DeWitt and Storksdieck (32) who report that taking current research findings (33) into account while planning science-center exhibits for students leads to desired effects.

In contrast to the highlighted results of 5th-graders (subsamples T and C-L), the 8th-grade students of C-A showed more boredom and lower positive reactions (interest, well-being, effort/importance, value/usefulness). The reason for this indifference may lie in the concept of the program itself as it was designed especially for younger students so that 8th-grade students may have felt not enough challenge throughout the day. The rather moderate affective feedback of C-A students confirms an appropriate

difficulty level for the younger – and therefore presumably less experienced – 5th-grade students of T. The preknowledge scores of the 8th-grade students (C-A) were significantly higher but despite of this did not result in an accordingly higher learning outcome. The reason may lie in the ceiling effect in KT-2 and KT-3 scores of C-A, which indicated a presumably better result of the 8th-grade students with a longer knowledge-test. In the meantime the salt mine is offering an analogous program matching the difficulty and classroom relevance required for 8th/9th grade students who are just starting their chemistry lessons.

In our study, we modified the physical context by changing the surroundings from subject-related to neutral. However, we did not find any hints to an impact of the salt mine surroundings on students' cognitive and affective outcome. Students of the treatment group T showed rather positive results throughout, comparable to the results of C-L at the neutral out-of-school learning setting. Nevertheless, we can not necessarily assume the two different learning settings to be rather equivalent in general: The study was limited on an assessment of knowledge referred to the experimentation stage, and of state emotions and intrinsic motivation. The outreach project may of course have other impacts on students, for instance an increase in social/methodic competences, updated interest in the topic/science in general, or gain in knowledge related to the guided tour. Further studies, for instance a comparison of the out-of-school lesson with a classroom-based lesson, will be necessary to refine our results.

CONCLUSIONS

The evaluation of the educational program at the salt mine succeeded to demonstrate the effectiveness of out-of-school science education. The lesson supplements the guided tour along the gallery of the salt mine in a way that enables teachers to combine out-of-school excursions and curricular topics, thus fulfilling the need to integrate

outreach projects into classroom learning (34). On the basis of our data, we assume a participation in an educational program as presented in this article as beneficial for students' science learning. Yet, being at the salt mine and taking part in the guided tour brought no advantage to students: Cognitive and affective outcomes were independent of the setting. At an out-of-school setting, a carefully designed educational program apparently is more important to obtain appropriate curricular value than subject-related surroundings and atmosphere. To further enhance out-of-school science education this study may encourage teachers, scientists and people involved in museum education to search for, realize and/or take part in such outreach projects.

SUPPLEMENTAL MATERIAL

An English translation of workbook tasks (workstations 1-5) and instructional guidelines (workstations 1-4) is available as supplement of the online issue. We added some screenshots of the computer-based workstation (No. 5). Some of the pictures had to be changed due to copyright restrictions.

Files: [Instructional_guidelines.pdf](#) (incl. the screenshots); [Workbook_tasks.pdf](#)

REFERENCES

1. Konhäuser, S. *Lernen in Science Centers - Mensch und Mathematik* [Learning in science centers – human being and mathematics]; EUB: Erziehung – Unterricht – Bildung [Education – Instruction – Literacy], vol. 109; Verlag Dr. Kovac: Hamburg, 2004; pp. 27 & 33.
2. Konhäuser, S. *Lernen in Science Centers - Mensch und Mathematik* [Learning in science centers – human being and mathematics]; EUB: Erziehung – Unterricht – Bildung [Education – Instruction – Literacy], vol. 109; Verlag Dr. Kovac: Hamburg, 2004; p. 40.

3. e.g. (a) Flynn, N. *J. Chem. Educ.* **2005**, *82*, pp. 1483-1485. (b) Silberman, R. G.; Trautmann, C. *J. Chem. Educ.* **2004**, *81*, pp. 51-53. (c) Calascibetta, F; Campanella, L.; Favero, G. *J. Chem. Educ.* **2000**, *77*, pp. 1311-1313.
4. (a) Domenici, V. *J. Chem. Educ.* **2008**, *85*, pp. 1365-1367. (b) Zare, R. *J. Chem. Educ.* **1996**, *73*, pp. A198-A199.
5. (a) Rennie, L. *J. Res. Sci. Educ.* **1994**, *24*, pp. 261-269. (b) Eshach, H. *J. Sci. Educ. Technol.* **2007**, *16*, pp. 171-190. (c) Kisiel, J. *J. Sci. Educ.* **2005**, *89*, pp. 936-955.
6. e.g. Cox-Petersen, A. M.; Marsh, D. D.; Kisiel, J.; Melber, L. M. *J. Res. Sci. Educ.* **2003**, *40*, pp. 200-218.
7. Griffin, J.; Symington, D. *J. Sci. Educ.* **1997**, *81*, pp. 763-779.
8. (a) cf. Griffin, J.; Symington, D. *J. Sci. Educ.* **1997**, *81*, pp. 763-779. e.g.: (b) Gottfried, J. *Curator* **1980**, *23*, pp. 165-174. (c) Brigham, D.; Robinson, J. *J. Mus. Educ.* **1992**, *17*, p. 3. (d) Pontin, K. Evaluation of school work in the Rutland Dinosaur Gallery. In *Museum, Media, Message*; Hooper-Greenhill, E., Ed.; Routledge: London, 1995; pp. 223-234.
9. e.g. (a) Orion, N. *Sch. Sci. Math.* **1993**, *93*, pp. 325-331. (b) Rennie, L. *J. Res. Sci. Educ.* **1994**, *24*, pp. 261-269. (c) Guisasola, J.; Morentin, M.; Zuza, K. *Phys. Educ.* **2005**, *40*, pp. 544-549.
10. Rennie, L. J.; McClafferty, T. P. *Stud. Sci. Educ.* **1996**, *27*, pp. 53-98.
11. Griffin, J. *J. Res. Sci. Educ.* **1994**, *24*, pp. 121-128.
12. Orion, N.; Hofstein, A. *J. Res. Sci. Teach.* **1994**, *31*, pp. 1097-1119.
13. Salmi, H. Science centre education - motivation and learning in informal education. Ph.D. Thesis, University of Helsinki, Helsinki, 1993.
14. (a) Falk, J. H.; Dierking, L. D. *The museum experience*; Whalesback Books: Washington D.C., 1992, p. 50. (b) Griffin, J.; Symington, D. *J. Sci. Educ.* **1997**, *81*, pp. 763-779.
15. Orion, N. *Sch. Sci. Math.*, **1993**, *93*, pp. 325-331.
16. Silberman, R. G.; Trautmann, C. *J. Chem. Educ.* **2004**, *81*, pp. 51-53.

17. (a) Rennie, L. J.; McClafferty, T. P. *Stud. Sci. Educ.* **1996**, 27, pp. 53-98. (b) Falk, J. H.; Dierking, L. D. *The museum experience*; Whalesback Books: Washington D.C., 1992, p. 15. 18. (a) Falk, J. H.; Dierking, L. D. *The museum experience*; Whalesback Books: Washington D.C., 1992, p. 50. (b) Falk, J. H.; Scott, C.; Dierking, L. D.; Rennie, L. J.; Jones, M. C. *Curator* **2004**, 47, pp. 171-198.
19. Orion, N.; Hofstein, A. *J. Res. Sci. Teach.* **1994**, 31, pp. 1097-1119.
20. University of Rochester. Self-Determination Theory – an approach to human motivation & personality.
http://www.psych.rochester.edu/SDT/measures/IMI_description.php (last access: Feb 2010).
21. (a) Schaal, S.; Bogner, F. X. *J. Biol. Educ.* **2005**, 40, pp. 28-39. (b) cf. Laukenmann, M.; Bleicher, M.; Fuß, S.; Gläser-Zikuda, M.; Mayring, P.; von Rhöneck, C. *Int. J. Sci. Educ.* **2003**, 25, pp. 489-507.
22. cf. (a) *The Education System in the Federal Republic of Germany 2007*; Lohmar, B., Eckhardt, Th., Eds.; Secretariat of the Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs of the Länder in the Federal Republic of Germany: Bonn 2009. (b) Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs of the Länder in the Federal Republic of Germany. <http://www.kmk.org/information-in-english.html> (last access Feb 2010).
23. (a) Schnotz, W.; Kürschner, C. *Educ. Psychol. Rev.* **2007**, 19, pp. 469-508. (b) Sweller, J.; van Merriënboer, J. J. G.; Paas, F. G. W. C. *Educ. Psychol. Rev.* **1998**, 10, pp. 251-296.
24. Widodo, A. *Constructivist Oriented Lessons: The Learning Environments and the Teaching Sequences*; European University Studies: Series XI (Education), Vol. 915; Peter Lang: Frankfurt/Main, 2004.
25. Anderson, L. W.; Krathwohl, D. R. *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing. A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*; Longman:

New York, 2001.

26. Terminology as proposed in: Anderson, L. W.; Krathwohl, D. R. *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing. A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*; Longman: New York, 2001.

27. Lienert, G. A.; Raatz, U. *Testaufbau und Testanalyse* [Test construction and test analysis]; Psychologie Verlags Union: Weinheim, 1998.

28. University of Rochester. Self-Determination Theory – an approach to human motivation & personality.

http://www.psych.rochester.edu/SDT/measures/IMI_description.php (last access Feb 2010).

29. (a) Schaal, S.; Bogner, F. X. *J. Biol. Educ.* **2005**, *40*, pp. 28-39. (b) cf.

Laukenmann, M.; Bleicher, M.; Fuß, S.; Gläser-Zikuda, M.; Mayring, P.; von Rhöneck, C. *Int. J. Sci. Educ.* **2003**, *25*, pp. 489-507.

30. Hedges, L.; Olkin, I. *Psych. Bull.* **1984**, *96*, pp. 573-580.

31. Kampenes, V.; Dyba, T.; Hannay, J.; Sjoberg, D. *Inf. Software Technol.* **2007**, *49*, pp. 1073-7086.

32. DeWitt, J.; Storksdieck, M. *Visitor Studies* **2008**, *11*, pp. 181-197.

33. e.g. (a) Orion, N. *Sch. Sci. Math.*, **1993**, *93*, pp. 325-331. (b) Orion, N.; Hofstein, A.

J. Res. Sci. Teach. **1994**, *31*, pp. 1097-1119. (c) Rennie, L. J.; McClafferty, T. P. *Stud.*

Sci. Educ. **1996**, *27*, pp. 53-98. (d) Falk, J. H.; Dierking, L. D. *Learning from museums:*

visitor experiences and the making of meaning; American Association for State and

Local History Book Series; AltaMira Press: Walnut Creek, CA, 2000. (e) Falk, J. H.;

Scott, C.; Dierking, L. D.; Rennie, L. J.; Jones, M. C. *Curator* **2004**, *47*, pp. 171-198.

34. Hofstein, A.; Rosenfeld, S. *Stud. Sci. Educ.* **1996**, *28*, pp. 87-112.

E.3 Teilarbeit B

Meissner, B. & Bogner, F. X. (2010)

Towards Cognitive Load Theory as a Guideline for Instructional Design in Heuristic
Science Education

Instructional Science

(submitted)

Towards Cognitive Load Theory as a Guideline for Instructional Design in Heuristic Science Education

Barbara Meissner

University of Bayreuth, Chair of Biology Education

GER-95440 Bayreuth

++49-(0)921-552598

++49-(0)921-552696

barbara.meissner@uni-bayreuth.de

Franz X. Bogner

University of Bayreuth, Chair of Biology Education

GER-95440 Bayreuth

Abstract In order to advance an interdisciplinary extension of cognitive load theory, we applied its principles in an heuristic out-of-school science lesson. The lesson comprises five experiments concerning major attributes of salt (NaCl) and was designed for students of different ages (5th to 8th grade) and stratification levels. Our interest focused on whether cognitive load theory provides sufficient guidelines for instructional design in the field of heuristic science education. We analyzed students' cognitive achievement scores and mental effort ratings. We extracted student clusters derived from their pre-knowledge and learning success. We characterized students of the clusters on the basis of cognitive achievement, mental effort ratings, and instructional efficiency scores. Analysis indicated that our lesson was efficient as students had clear positive cognitive achievement and rather low perceived mental effort ratings. Cluster analyses revealed three clusters with students who achieved quite satisfying results while the additional four clusters showed deficiencies: Two clusters revealed improvable results, two clusters showed no learning success at all, which may mainly point to a lack of guidance. Our study emphasizes the importance of adequate guidance during instruction in demanding settings. Within the framework of cognitive load theory, precise guidance in heuristic science education needs to be specified.

Keywords *Cognitive load; Instructional efficiency; Guidance; Heuristic science education; Out-of-school; Hands-on*

For a description of the status of working memory in learning situations, the cognitive load theory (CLT) uses the concept of element interactivity. CLT differentiates between element interactivity caused by the material to be learned (imposing intrinsic cognitive load on a learner's working memory), and element interactivity caused by processing information that is not relevant for learning (imposing extraneous cognitive load). Thus intrinsic cognitive load depends on the difficulty and complexity of a task, while extraneous cognitive load results from instructional design. An additional component, germane cognitive load, is defined as referring "to the working memory resources that the learner devotes to dealing with the intrinsic cognitive load" (Sweller 2010, p. 126). (Sweller 2010)

On the basis of CLT, many instructional designs have been monitored with regard to learning effects (e.g. Cierniak et al. 2009). As a result, clear guidelines for instructional design have been developed (e.g. Sweller et al. 1998; Sweller 2010), and CLT has proved to be a valuable theory of instruction (Ozcinar 2009; Sweller and Chandler 1991; Paas et al. 2010). Although up to now, empirical prove of the basic concepts of intrinsic, extraneous, and germane cognitive load is lacking, the CLT as a whole has retained its character as a scientific theory (Gerjets et al. 2009): Under a structuralist view, "the basic theory element does not necessarily have to be testable because it might be impossible to conceive independent operationalizations of the constructs described in it" (Gerjets et al. 2009, p.48). It is quite sufficient if verifiable assumptions (e.g. Sweller and Chandler 1991) can be drawn from these basic constructs. To contribute to an interdisciplinary extension of CLT (Ayres and Paas 2009), we applied its principles for instructional design to heuristic science lesson at an out-of-school learning setting. We were interested in how far the lesson could be adapted to each student's individual requirements. For this purpose, we analyzed student characteristics to obtain a kind of 'footprint' of our lesson.

Our project combined curricular topics and contents with out-of-school experiences in school life – an approach often required by science education research (Braund and Reiss 2006; Hofstein and Rosenfeld 1996), but also criticized as problematic (Kirschner et al. 2006). A main limitation of the educational value of outreach projects is the diversity of influence factors at out-of-school learning settings. Physical, instructional, personal, and socio-cultural contexts form four categories of such influence factors (cf. Eshach 2007; Falk et al. 2004; Orion and Hofstein 1994) many of which depend on the

novelty of an out-of-school learning setting. These multiple impacts represent a critical point: On the one hand, capacity of working memory is constrained (Baddeley 1992), on the other hand, students are expected to demonstrate clear cognitive achievement after participation in a curriculum-based outreach project. However, Luehmann (2009), for instance, analyzed students' and teachers' perspectives on an out-of-school laboratory experience and confirmed the educational value of adequately designed outreach projects. We developed an interactive out-of-school lesson concerning major attributes of salt (NaCl), following the principles of CLT. We characterized students to examine the value of CLT as a guideline for the design of heuristic out-of-school settings.

Guidelines for Instructional Design

In recent years, many contributions to CLT have been made (e.g. de Jong 2010; Moreno 2010; Schnotz and Kürschner 2007). Nevertheless, in our study, we mainly refer to the sufficient (cf. Moreno 2010) CLT description published by Sweller et al. (1998), and its refinement (Sweller 2010).

The application of CLT to instructional design aims to optimize cognitive load. Design of demanding tasks requires (1) adequate levels of intrinsic cognitive load, (2) reduction of extraneous cognitive load, and (3) enhancement of germane cognitive load.

(1) There are different approaches to align intrinsic cognitive load of complex tasks (Ayres 2006). Many recommendations are about restructuring a given task into smaller, less complex units. Intrinsic cognitive load is not varied directly, but several less intricate tasks are developed (Van Merriënboer et al. 2002). Direct reduction of intrinsic cognitive load can take place through a simplification of a complex task followed by the presentation of more complex versions step by step (Pollock et al. 2002; Van Merriënboer et al. 2002; Van Merriënboer et al. 2006).

(2) For a reduction of extraneous cognitive load, many approaches are well-known, of which we employ some relevant for our study (cf. Sweller et al. 1998; Sweller 2010): Split-attention effects (Sweller et al. 1990) occur if learners have to keep in mind different issues simultaneously: Mental integration of information from different sources increases element interactivity in working memory. Split-attention effects are reduced if information is given in condensed rather than separated mode (e.g. comments integrated into a figure). Redundancy effects (Chandler and Sweller 1992) occur if a task comprises much information unnecessary for understanding: Learners have to

invest working memory capacity to process redundant information, which results in unnecessarily interacting elements. This effect also includes the expertise-reversal effect (Kalyuga et al. 2003) as a learner's previous knowledge and expertise determine whether certain information turns out to be redundant or not: High expertise learners may be confronted with more redundant information than novices. The problem-completion effect is very similar to the worked-example effect: If a task already provides a framework of solution steps (completion problems) or the complete solution (worked examples), learners do not have to apply the very demanding means-end strategy (Kalyuga et al. 2001) for problem solving, which results in reduced element interactivity.

(3) To enhance learning processes (i.e. to foster germane cognitive load), motivation plays an important role: It is the learner who decides whether to invest working memory capacity for learning processes (Van Merriënboer et al. 2002; Van Merriënboer et al. 1992). Learners need adequate stimulation in order to expend working memory capacity for learning processes (Schnotz and Kürschner 2007). For this purpose, tasks of high variability and an appropriate level of guidance are known to be advantageous (Van Merriënboer et al. 2006). High variability enables learners to become familiar with the conditions under which certain methods can be applied. Concerning adequate guidance, only the self-explanation effect has been thematized (Sweller 2010): If learners need to formulate explanations they need to process information relevant for learning. Resulting element interactivity is not extraneous since it fosters learning processes. Hence self-explanations enhance germane cognitive load.

Considering these recommendations, we developed an interactive out-of-school lesson suitable for a wide range of learners. After implementation, we characterized students according to cognitive parameters (pre-knowledge, cognitive achievement, instructional efficiency) to obtain a 'cognitive footprint'. Motivational analyses of students' engagement (cf. Skinner et al. 2009) will be published separately. For the purpose of an interdisciplinary extension of CLT (Ayres and Paas 2009), we applied CLT to the field of hands-on science education: CLT may provide an adequate repertoire of recommendations for the design of interactive outreach projects, which could enhance students' competence formation without neglecting the gain of factual knowledge.

CLT-based Lesson

Our curriculum-based out-of-school lesson is part of the educational programme of a commercial salt mine. However, in order to exclude site effects, the implementation took place at a neutral out-of-school learning setting with no links to the subject of salt, namely in an environmental information center. The workstations of our out-of-school lesson incorporate five experiments that illustrate important attributes of salt (NaCl) on a basic level. They cover the issues ‘freezing point depression’, ‘electric conductivity’, ‘endothermic solvation processes’, ‘density increase’, and ‘osmotic activity’. Students worked together in small groups. Group composition was left to students’ choice (Ciani et al 2008). Referring to Sweller (2004), we assigned to the instructional materials the function of a central executive, as they helped to order and structure information and activities: Instructional guidelines contained illustrated step-by-step instructions offering appropriate guidance and facilitating hands-on activities. Additionally, to ensure that students reached the educational objectives, each student was provided with a workbook containing tasks to document observations, display results, and draw conclusions. The importance of such structured guidance was emphasized by Kirschner et al. (2006), who criticized approaches in the context of constructivist theories as being ineffective for learning: A clear distinction must be drawn between experimentation procedures in the field of scientific research, and concepts of how to teach science. Our workstations therefore differ from authentically scientific experiment performance, and aim rather to provide experience with laboratory equipment and scientific working on the one hand, and efficient learning of factual knowledge on the other. We tried to avoid the effect that ‘interacting with equipment may simply interfere with essential cognitive activities’ (Sweller and Chandler 1994, p. 228).

The preconditions defined a learning situation with high extraneous cognitive load: The coordination of instructions, workbook tasks, and equipment implied a split-attention effect caused by “spatially separated” (Schnotz and Kürschner 2007, p. 471) sources of information. Furthermore, the novelty of the learning place was supposed to produce additional cognitive load that would not contribute to learning. We designed instructional guidelines and workbook tasks according to CLT principles to compensate for the demanding setting.

Adequate Level of Intrinsic Cognitive Load

As the extraneous cognitive load of the lesson was very high we reduced intrinsic cognitive load to avoid overchallenging learning conditions (Paas et al. 2004). In addition, students had no chemical pre-knowledge, but the experiments were about properties of NaCl that are based on complex molecular principles (e.g. reaction energy, intermolecular forces). Thus, we simplified the complex tasks and did not go beyond the phenomenological level to describe the effects. We used the terms ‘salt-particles’ and ‘water-particles’ in our explanations, as the concept of ‘particles’ is already part of 4th grade curricula.

Reduction of Extraneous Cognitive Load

As illustrated in Fig. 1, we placed illustrations of the instructional guidelines beside the corresponding text, and structured the text in subsections according to working steps. Consequently, we facilitated performance as students could (1) read the instruction for a certain working step and look at supporting illustrations (2) perform the required activities (3) easily retrieve in the guidelines the step to be taken next. In this fashion we reduced split-attention effects: Element interactivity was decreased as students were instructed to keep in mind and process one step by another.

We constructed workbook tasks in the form of completion problems (Van Gog and Paas 2008). That is, students completed prestructured tables, texts, pictures, and so on (cf. Fig. 1). Therefore, a clear guideline facilitated careful handling of the tasks.

We excluded redundant information and concentrated on the concise description of working steps in the instructional guidelines, and precisely formulated tasks in the workbook. For each workstation, we displayed some interesting additional information separated from the tasks for students to read optionally.

[Place Fig. 1 about here]

Fostering Germane Cognitive Load

The nature of the lesson itself implied high task variability: Each workstation presented a similar problem – performing an experiment – under an individual surface story – the subject of the workstation (cf. Van Merriënboer et al. 2006). Furthermore, workbook

tasks prompted group discussions, as students were asked to document their individual performance outcomes.

Fostering germane cognitive load means fostering students' motivation. Hence we included main statements of intrinsic motivation research (e.g. Reeve 1996; Ryan and Deci 2000) and considered students' basic needs for autonomy, relatedness, and competence. Perceived competence is the result of an adequate level of intrinsic cognitive load and guidance. We provided a comfortable atmosphere during the lesson to positively influence students' sense of relatedness. Perceived autonomy was enhanced, for instance, by the self-guided structure of the lesson itself and the generous timeframe that allowed students to deal with equipment beyond the prescribed working steps.

Target Group

The project was designed for 5th to 8th graders of various stratification levels. We intended to reach extraneous and intrinsic cognitive load levels that allowed effective learning processes. We used the model of the zone of proximal development (Vygotski 1963) to illustrate the presumed situation (Fig. 2). The zone of proximal development describes the region within which a learner can successfully perform a task, given the individual level of expertise. The region ranges from the most demanding task that can be performed without help, to the most demanding task that can be performed with help. As students of our target group were of various ages and stratification levels, we assumed a wide range of expertise. Accordingly, for students with low expertise, the mental load of the tasks would be almost too high to be performed completely without help. On the other hand, highly experienced students might find tasks easy, and might even be able to solve more complex tasks without help. To obtain a well-balanced situation, we tried to avoid non-taxing demands upon higher expertise students without overcharging less expertised students. We offered on demand additional help but did so as restrained as possible.

[Place Fig. 2 about here]

Instruments and Methods

We performed cluster analyses on the basis of a repeatedly applied multiple-choice knowledge test to obtain cognitive subsamples based upon the individual effectiveness of the lesson. Persistence of knowledge, mental effort ratings, and instructional efficiency scores served as cognitive parameters to characterize the different clusters. We intended to get insight in the educational value of the lesson and to find general starting points for improvement.

Participants

17 classes from 10 schools, a total of 276 students ($M_{age} = 11.6$, $SD = 1.6$), participated in the study. The sample included students of two age groups and two stratification levels (cf. Table 1).

[Place Table 1 about here]

Effectiveness of the Lesson – Knowledge Test

As a wide range of learners participated in the study, we were interested in specific student characteristics. We chose students' performance on a knowledge test to describe the individual effectiveness of the lesson in terms of students' "having the power to produce, or producing, a desired result" (Chambers 21st Century Dictionary 2010). The knowledge test comprised 13 multiple-choice items concerning major outcomes of the workstations. We asked students about the effects observed, the devices used, and applications of the effects thematized in workbook tasks. Examples of knowledge test items are listed in Table 2. We applied the knowledge test one week before (pretest; KT1), immediately after (posttest; KT2), and six weeks after the lesson (retention test; KT3). Each time, the order of questions and the order of distractors within each question were varied to obviate test effects.

[Place Table 2 about here]

Knowledge Test Piloting

The knowledge test was pilot-tested with 109 5th grade students (high stratification level) who filled in the pretest one week before and the posttest immediately after the lesson (Cronbach's alpha = 0.72). The composition of knowledge test items proved to be adequate for students, as the amount of correct answers per item (difficulty index) ranged between 22 % and 84 % in the pretest (i.e. students had not dealt with the material before; cf. Fig. 3), and between 45 % and 91 % in the posttest (i.e. after a subject-specific lesson). Corrected item-total correlation (discrimination index) was 0.357 on average in the posttest (cf. Fig. 3). Thus, items were appropriate to differentiate between high and low achievers after the lesson.

A control sample of 29 students ($M_{\text{age}} = 13.48$, $SD_{\text{age}} = 0.63$) filled in the pre- and the posttest without participating in the lesson. We used the non-parametric Wilcoxon test to compare the results. We found no significant differences between pre- and posttest scores, which indicated that no test effect occurred: students who simply filled in the knowledge tests without any treatment did not gain any knowledge.

[Place Fig. 3 about here]

Pre-knowledge and Cognitive Achievement

Repeated application of the knowledge test enabled us to estimate students' pre-knowledge and cognitive achievement. These values indicated the effectiveness of the lesson. We took the sum scores of KT1 (pretest; applied one week before the lesson) as indicators of students' previous knowledge. A weighted difference between sum scores of KT2/3 and KT1 (Scharfenberg et al. 2007) yielded short-term/long-term cognitive achievement scores. For instance, we calculated long-term cognitive achievement scores as follows:

$$(\text{sum score KT3} - \text{sum score KT1}) * (\text{sum score KT3} / \text{total number of items})$$

The quotient 'learner's sum score in KT3 / total number of knowledge test items' was used to diminish ceiling effects caused by the restricted number of items (cf. Scharfenberg et al. 2007).

We chose long-term cognitive achievement scores as an index of learning success, as the process of learning is defined as the result of changes in long- rather than short-term

memory (e.g. Schnotz and Kürschner 2007). As data were not normally distributed, we used the Wilcoxon test to compare knowledge test results of the whole sample, as well as short- and long-term results of each cluster.

Formation of Clusters

Using key cognitive parameters, we extracted clusters to obtain a ‘cognitive footprint’ of our lesson. We chose the amount of pre-knowledge, well-known to be a crucial student characteristic, and learning success (long-term cognitive achievement) as the main cognitive outcome. Thus, we intended the clusters to reflect the effectiveness of the lesson for different groups of students.

To guarantee equidistance of achievement score data we divided students into two groups: one group without measurable cognitive achievement (learning success = 0; $n = 63$), and one group with measurable cognitive achievement (learning success > 0; $n = 213$). On the basis of data of students with learning success > 0, we conducted two cluster analyses with pre-knowledge and learning success as variables: We compared squared Euclidian distances of different solutions yielded by hierarchical cluster analysis (Ward method) to estimate possible numbers of clusters. These tentative solutions were revised by cluster centers analysis (k-means method). To compare the cluster composition of corresponding solutions, we calculated Pearson’s Contingency Coefficient c and corrected contingency coefficient $c_{corr} = c/c_{max}$ ($c_{max} = \sqrt{(n-1)/n}$ where n is the number of clusters). Context-related comparison was applied to the results. We estimated cluster homogeneity and used one of the methods suggested by Bergmann et al. (2003) to value the “percentage of the total error sum of squares ‘explained’ by the classification” (Bergmann et al., 2003, p. 99). We described the clusters of the final solution in relation to the quartiles (Q) of the pre-knowledge and learning success scores of the whole sample (cf. Figs. 5 and 6): Scores < Q1 were labelled ‘low’, scores \geq Q1 and < Q3 ‘medium’, and scores \geq Q3 ‘high’. According to this allocation, we divided the group of students without measurable cognitive achievement (learning success = 0) into three subsamples that corresponded to students’ different levels of pre-knowledge. To facilitate understanding, these subsamples will also be called ‘(artificial) clusters’ in the following.

Self-rated Mental Effort

To obtain data for the calculation of instructional efficiency, and for an overall estimation of “resource requirements” (Gopher and Braune 1984, p. 529) of the lesson, we asked students to rate their perceived mental effort (ME). We applied the one-item mental effort self-rating scale proposed by Paas (1992) and confirmed to be applicable by Sweller (2010). The scale is based on the perceived difficulty scale developed by Bratfisch et al. (1972). We applied the scale against the background that self-ratings presumably allow deeper insight in student characteristics than objective (e.g. physiological) measurements (cf. Bratfisch et al. 1972): Self-perception would be more relevant for “a person’s feelings, attitudes, motivation, etc.” (Bratfisch et al. 1972, p. 1).

General Validity of Subjective Measures

There are many opinions about the usage of subjective measures, as only reliability (workload scale: Gopher and Braune 1984; ME scale: e.g. Paas et al. 1994; Ayres 2006) and sensitivity (workload scale: O’Donnell and Eggemeier 1986; ME scale: Paas et al. 1994) seem to have been empirically confirmed. On the other hand, Stevens (1975) took it for granted on the basis of psychophysical theory that subjective ratings work very well. Main current doubts are:

- Can people translate self-perceptions into numerical values (construct validity)?
- Does self-estimation allow inferences about the physiological/psychological construct behind it (criterion validity)?

Psychophysical measurement theory (cf. Stevens 1975) describes the connection between subjective ratings and a corresponding (objective) physical construct. In psychophysical measurements, people usually are asked to rate their self-perception relative to a given reference point. By this method, people are able to give subjective ratings that allow statements about the psychological construct behind the rating according to a mathematical formula called ‘power function’: subjective rating = const. \times (physical quantity)ⁿ. This approach leads to two conclusions: (1) People can translate self-perceptions into numerical values, which is confirmed by the often obtained high face validity of workload self-rating scales (e.g. Gopher and Braune 1984, Gopher and Donchin 1986). (2) These subjective ratings reflect an objective measurand, representable as a mathematical function. In fact, Gopher and Braune (1984) succeeded the development of a power function for the workload scale. Furthermore, they found high correlations between the different task ratings and an objective index of task

difficulty, as did for instance Bratfisch et al. (1972). Dornic (1980) found similar results for the effort expenditure scale. These results allow the conclusion that subjective ratings of load or effort are not arbitrary. The construct behind the subjective load ratings has been called “resource requirements” by Gopher and Braune (1984, p. 529). How far this construct is in line with the concept of cognitive load is still under question. But as far as data about perceived ME itself are concerned, empirical validity of the scale as a subjective rating scale seems to have been sufficiently demonstrated. ME in this context “refers to the amount of capacity or resources that is actually allocated to accommodate the task demands” (Paas and Van Merriënboer 1994, p. 122).

Application of the Mental Effort Self-rating Scale

We applied the ME self-rating scale five times during the lesson: Each time students had completed a workstation, they rated their amount of invested ME on a symmetric seven-point scale. As a reference point, we set ‘4’ as ‘regular science lesson’. We calculated mean scores of these five ratings to obtain the average ME invested during the lesson (Cronbach’s alpha = 0.68). We used these average scores for the calculation of instructional efficiency scores, and as an overall estimation of “resource requirements” (Gopher and Braune 1984, p. 529) of the lesson. For this purpose, we used the Mann-Whitney U test to compare non-normally distributed ME scores of each cluster with the corresponding residual sample.

Instructional Efficiency of the Lesson

We performed cluster analyses on the basis of effectiveness data (pre-knowledge, learning success) and used relative efficiency to describe the clusters from a cognitive point of view. To estimate instructional efficiency (IE), we combined learning success and average mental effort during the lesson. That is, according to Van Gog and Paas (2008), we measured the instructional efficiency of the learning process itself. This combination of learning and mental effort allowed a more precise analysis than a separate analysis of both variables (Paas and Van Merriënboer 1993; Janssen et al. 2010).

We used the method developed by Paas and Van Merriënboer (1993) to calculate IE. A comparison of this approach with alternatives (cf. Hoffman and Schraw 2010) will be published separately. First, we calculated z -standardised mental effort scores (ME_z) and learning success scores (L_z) for each student. Second, IE was calculated as follows:

$$IE = (L_z - ME_z) / \text{sqrt}(2) \quad (\text{Instructional efficiency score of each student})$$

As variables are standardized, values always are to be interpreted in relation to average. It must also be considered that instructional efficiency yields a relative score dependent on two different variables. Results therefore need careful interpretation and can not be analyzed in isolation from the context. Otherwise, analysis may of course lead to wrong conclusions as indicated by de Jong (2010).

Resulting IE scores were normally distributed (Kolmogorov-Smirnov with Lilliefors correction: $p = 0.09$). Therefore, we used T -tests to compare IE scores for each cluster with the corresponding residual sample.

Total Sample Results

The lesson aimed to increase students' knowledge with an appropriate amount of mental effort. In the following, we describe cognitive achievement and mental effort during the lesson with reference to the whole sample.

Fig. 4 shows the sumscores of pre-, post-, and retention tests. Results revealed significant differences between the tests (Pretest – posttest: $Z = -12.73$, $p < 0.001$; pretest – retention test: $Z = 5.12$, $p < 0.001$; posttest – retention test: $Z = 5.49$, $p < 0.001$).

[Place Fig. 4 about here]

Mean score of the five mental effort ratings (one after each workstation) was 2.03 ($SD = 0.79$) on average. Scores ranged between 1 and 7, which encompasses the whole range of the scale.

Cluster Description

As a first step to characterize students, we extracted clusters based upon the effectiveness-parameters pre-knowledge and learning success. Table 3 summarizes the results.

[Place Table 3 about here]

Cluster analyses ($c = 0.84$; $c_{corr} = 0.94$) resulted in five clusters (I – V) according to pre-knowledge scores (cf. Fig. 5) and learning success (cf. Fig. 6). Homogeneity ranged from 77 % to 85 % (cf. Table 3). There were three further, artificial clusters (VI, VII, VIII) of students without measurable learning success. As cluster VIII comprised only four students we excluded it from further analyses.

[Place Fig. 5 about here]

Knowledge Persistence and Mental Effort

In order to characterize the clusters, we compared short- and long-term cognitive achievement scores. Additionally, we compared mental effort scores of students of each cluster with the average score of the corresponding residual sample.

There were clear cluster differences between the results for students' short- and long-term cognitive achievement scores (Fig. 6): Students of clusters I, III, VI and VII yielded significantly lower scores for long-term than for short-term cognitive achievement (I: $Z = 3.15$, $p = 0.002$; III: $Z = 5.12$, $p < 0.001$; VI: $Z = 3.07$, $p = 0.002$; VII: $Z = 4.11$, $p < 0.001$). Short-term cognitive achievement scores additionally were spread more widely (cf. Fig. 6). Results for students of cluster II even revealed a significant increase from short- to long-term cognitive achievement scores (II: $Z = 2.86$, $p = 0.004$).

[Place Fig. 6 about here]

Table 4 lists mean ME score for each cluster. ME scores of none of the clusters differed significantly from the mean score of the corresponding residual sample. However, clusters I, II, and VI showed slightly below-average ME. ME of clusters IV, V, and VII tended rather to be above-average, and ME of cluster III nearly equaled ME score of the total sample.

[Place Table 4 about here]

Instructional Efficiency

We calculated IE scores as a combination of z -standardized ME scores and learning success scores to get insight into the characteristics of students of the different clusters. The results are shown in Table 5. IE of cluster I did not differ significantly from the residual sample, whereas clusters III, V, VI and VII revealed significantly below-average IE. Clusters II and IV showed strongly above-average IE scores.

[Place Table 5 about here]

Discussion

We designed an interactive out-of-school lesson suitable for a wide range of learners. We characterized participating students according to cognitive parameters to estimate the educational value of the lesson and of CLT as a theory for instructional design in heuristic science education. Analysis of the results of the total sample showed that the lesson enabled students to reach clear positive cognitive achievement: Differences of both posttest and retention test compared to pre-knowledge scores were highly significant. On the other hand, we found a significant decrease from posttest to retention test scores. Nevertheless, students' performance on the retention test still pointed to a clear gain in knowledge (cf. Fig. 6). From the point of view of effectiveness, we can thus conclude that we achieved our goal of students learning major facts about salt. Mean mental effort ratings of the total sample covered the whole range of the scale from 1 to 7. However, the average score of 2.03 ($SD = 0.79$) indicated rather low perceived mental effort. As it is not sure if mental effort self-ratings allow estimation of overall cognitive load (e.g. de Jong 2010; Moreno 2010), we may conclude from this result only that students did not feel cognitive overload and that we succeeded in integrating CLT principles from students' subjective point of view. As there is no consensus as to which mental effort ratings on the scale from 1 to 7 count as adequate or desirable (cf. de Jong 2010), we draw no further conclusions.

A synthesized, descriptive discussion of the clusters (cf. Table 6) revealed possible relations between cognitive parameters. First, we concentrate on appraisals of each cluster. Afterwards, we outline possible conclusions that hint (1) to compliance of our

lesson with CLT principles, and (2) to starting points for improvements of science instruction.

[Place Table 6 about here]

Appraisal of Each Cluster

Cluster results are summarized in Table 6. Students of cluster IV yielded sustainable (i.e. no significant changes from short- to long-term results) medium to high learning success. Above-average IE confirmed the sustainability of gained knowledge and an adequate relation between mental effort and cognitive achievement. Students of cluster V with high pre-knowledge scores yielded only low to medium learning success, and below-average IE. Nevertheless, cognitive achievement was persistent, as there were no significant differences between short- and long-term cognitive achievement scores. We may therefore regard the results as satisfying, pointing to a ceiling effect: Pre-knowledge scores of students of cluster V were high. Hence, they could not have answered much more questions correctly after the lesson than before the lesson. Students of cluster II showed high learning success, and even a significant increase from short- to long-term cognitive achievement scores. We can exclude the notion that teachers trained students before the retention test, as described by Scharfenberg et al. (2006) within science education, as each cluster comprised students from 12 to 17 different classes (cluster II: 12 classes). Any other systematic causes are implausible as these would affect either the whole sample or specific classes. Perhaps the nature of the individual learning process of these students required a kind of maturation phase until information processing and schema construction had been completed. Another reason may be that the lesson induced specific interest and, as a consequence, students' personal learning at home.

Students of cluster I with low pre-knowledge scores lost some of the shortly achieved knowledge: The low to medium learning success scores were significantly lower than short-term cognitive achievement scores. Nevertheless, IE was about average, which indicates an adequate relation between mental effort and cognitive achievement. As cognitive achievement was rather low we may conclude that students could have performed better if they had invested more mental effort. The reason they did not do so may either be motivational (students did not want to do) or it may lie in insufficient

guidance (students did not know how to do). As ME of cluster I was rather below-average, we may assume low motivation as a cause. The reason of this lack of motivation may lie in motivational “defaults” (Clark et al. 2006, p. 30) that can occur if students do not know how to cope with learning material: Students’ attention switches to other, not subject-specific issues. Such defaults result in reduced mental effort and low performance (Clark et al. 2006). In this case, students of cluster I not only showed low motivation but they also required more guidance.

The two subsamples of students without measurable cognitive achievement, clusters VI and VII, and students of cluster III each revealed below-average IE and a significant decrease in cognitive achievement scores from short- to long-term results. Hence, it seems obvious that we did not reach these students with our lesson. The high pre-knowledge scores of students of cluster VI point to a ceiling effect that may have caused the seemingly missing cognitive achievement. Achievement scores might have been at least ‘low’ if students had not answered at least about 2/3 of the knowledge-test questions correctly in the pretest (cf. Fig. 5). The rather below-average mental effort and IE scores of cluster VI may point to motivational reasons to explain rather low learning success and rather high decrease rates. Students of Cluster VI may have had difficulties in identifying relevant learning contents as their pre-knowledge scores were high (expertise-reversal effect – Kalyuga et al. 2003, Schnotz 2010, Sweller 2010), and they may already have developed a “knowledge-based central executive” (Sweller 2004, p. 25) which made our central executive provided by prestructured instructional materials redundant. They may thus have estimated the lesson as not interesting, and may have opted out. However, as students of cluster V with high pre-knowledge scores showed satisfying results we can not conclude that the subject and/or the design in general were inadequate for students with high levels of previous knowledge.

Although cognitive outcomes were low, ME of clusters III and VII was about average (cluster III) and slightly above-average (cluster VII). Students of these clusters can be supposed to have expended mental effort only to a little extent due to germane cognitive load but mainly due to extraneous cognitive load. The methods required to perform the experiments successfully may have exceeded students’ cognitive abilities: To cope at the same time with workbook tasks, instructional guidelines, and equipment/devices leads to split-attention effects (Sweller et al. 1990, Sweller 2010), enhanced by the novel surroundings (Orion and Hofstein 1994). Students of clusters III and VII may have had difficulties in recognizing contexts important for factual learning as they were

busy with structuring and gaining control of their course of action. These students, 33.5 % of the total sample, may have needed more accurate guidance. Heyne and Bogner (2009a, submitted, 2009b), for instance, have already applied such student-centered group work combined with individualized guidance (“immediate feedback” – Van Merriënboer et al. 2006, p. 345) successfully. They demonstrated that students experiencing this kind of guidance outperformed students who worked completely on their own. Another possibility is a structured consolidation phase. We did not include such “delayed feedback” (Van Merriënboer et al., 2006, p. 345) in our lesson for organizational reasons: We assumed a consolidation phase immediately after the lesson to be pedagogically nonsensical as students already had accomplished about 90 min of physically and mentally exhausting self-guided work. On the other hand, we could not guarantee a consolidation phase in the classroom to be the same for each class as different teachers would have had to perform it.

Cluster analyses require post-hoc analyses per se. Thus, we had to draw on post-hoc statements about cognitive load although this approach has been shown to easily lead to trivial conclusions if it is not applied carefully (Schnotz and Kürschner 2007). However, as our study does not compare the cognitive load of different instructional approaches, we may use post-hoc analysis to explain students’ outcomes. In addition, our conclusions may not be overinterpreted as ME scores of the clusters did not deviate significantly from residual sample mean scores. Further motivational analyses are necessary to examine our assumptions and will be published separately.

Appraisal of the Lesson

Reconsidering Fig. 2, showing the allocation of the project by reference to the zone of proximal development (ZOPD), we confirmed the wide range of learners we expected. That is, for clusters III and VII with a presumed lack of guidance the tasks went beyond the highest loaded task that students could perform without help (i. e. at the left end of the sample allocation in Fig. 2), and the guidance available was not sufficient for these students. Cluster VI with a lack of motivation as well as cluster II with overwhelmingly positive results may be positioned at the opposite side: that is the tasks were below the highest loaded task they could perform without help. In other words, the tasks may have proved to be easy to handle for these students. Some of them, students of cluster II, took this as an opportunity to gain a large amount of knowledge, indicating high motivation. Students of clusters IV and V may reach the lower edge of the ZOPD: The project may

have approached the highest loaded task they could perform without help. Cluster I may be allocated near to clusters III and VII, as we assume too little guidance to count for the presumed lack of motivation.

We did not succeed in reaching all students likewise. However, we also found no hints of a systematic lack in the design of the study. We can therefore assert that the lesson was designed adequately with respect to cognitive load parameters. Instructional improvements are necessary in terms of guidance for some students – for instance as a kind of moderated group work or consolidation phase –, and in terms of specific motivation – maybe as a game-based entrance – for others.

Further analyses of motivational parameters, for instance instructional involvement (Paas et al. 2005), are necessary to refine the results of this study, and will be published separately. Nevertheless, we succeeded in identifying starting points for instructional improvement to facilitate a more effective design of out-of-school projects with adequate or at least reasonable levels of cognitive load for a wide range of learners. In the area of science education, CLT has barely been applied to evaluate learning units. An exception is, for instance, the research of Scharfenberg and Bogner (2010) on out-of-school gene-technology laboratories. Our approach may contribute to a further application of CLT in the field of science education. Beyond a confirmation of its statements, we used CLT to identify starting points to optimize outreach projects entailing high levels of extraneous cognitive load. The study therefore complies with the demand of de Jong (2010, p. 126) “to find load-reducing approaches for intensive knowledge producing mechanisms”.

Prospect

A limitation of the study may lie in the fact that we did not measure unconscious learning as, for instance, methodical competencies. These implicit learning processes are not represented as germane cognitive load in working memory: Learning processes resulting in germane cognitive load correspond only to intentional learning (Schnitz and Kürschner 2007). However, implicit learning processes may be a result of extraneous cognitive load: To perform procedures causes high element interactivity in working memory, which is neither related to intentional learning nor to subject complexity, and therefore must be seen as extraneous cognitive load following the definition. Nevertheless, this element interactivity might lead to schema construction and automation in facilitating future performance of similar procedures. Analysis of the

dynamics of group work with its shared cognitive capacities among group members (Kirschner et al. 2009; Janssen et al. 2010), and training of teachers' and students' questioning strategies (Gillies and Haynes 2010) may be helpful approaches to investigating in students' competence formation.

The main scope of our study was to design a lesson according to CLT principles in a highly demanding setting. We aimed to facilitate learning processes and to reach a wide range of students. Further improvements may take place mainly in the field of guidance: Presumably due to split-attention effects, students seemed to have difficulties in holding to the course set by the learning material. Adequate guidance as a precondition for effective learning is mentioned in the context of research on germane cognitive load (Van Merriënboer et al. 2006). Cognitive tutors (e.g. Koedinger and Alevan 2007) or software agents (e.g. Moreno 2004) as a part of virtual learning environments have proved effective, but beyond the field of e-learning, little concrete statements about assembly of adequate guidance have developed to date. Van Merriënboer et al. (2006) reviewed the effects of immediate and delayed feedback. In science education, a kind of moderated group work seemed to lead to good results (Heyne and Bogner 2009a, submitted, 2009b), but this method is difficult to realize at an out-of-school setting without pedagogically trained personnel. As a next step, we would specify the students' needs for guidance in the framework of CLT more precisely, specifically for the field of science education.

References

- Ayres, P. (2006). Impact of reducing intrinsic cognitive load on learning in a mathematical domain. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 281-298.
- Ayres, P., & Van Gog, T. (2009). State of the art research into cognitive load theory. *Computers in Human Behavior*, 25, 253-257.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559.
- Bergmann, L., Magnusson, D., & El Khouri, B. (2003). *Studying Individual Development in an Interindividual Context: a Person-Oriented Approach*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

- Bratfisch, O., Borg, G., & Dornic, S. (1972). Perceived item-difficulty in three tests of intellectual performance capacity. Stockholm: Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, Report No. 29.
- Braund, M., & Reiss, M. (2006). Towards a more authentic science curriculum: the contribution of out-of-school learning. *International Journal of Science Education*, 28(12), 1373-1388.
- Chambers 21st Century Dictionary.
<http://www.chambersharrap.co.uk/chambers/features/chref/chref.py/main>.
 Chambers Publishers Ltd. Last access May 2010.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(3), 293-332.
- Ciani, K., Summers, J., Easter, M., & Sheldon, K. (2008). Collaborative learning and positive experiences: does letting students choose their own group matter? *Educational Psychology*, 28(6), 627-641.
- Cierniak, G., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the split-attention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load? *Computers in Human Behavior*, 25, 315-324.
- Clark, R., Howard, K., & Early, S. (2006). Motivational challenges experienced in highly complex learning environments. In J. Elen, & R. E. Clark (Eds.), *Handling complexity in learning environments: theory and research* (pp. 27-42). Amsterdam: Elsevier.
- de Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Instructional Science*, 38 (2), 105-134.
- Dornic, S. (1980). Language dominance, spare capacity and perceived effort in bilinguals. *Ergonomics*, 23(4), 369-377.

- Eshach, H. (2007). Bridging in-school and out-of-school learning: formal, non-formal, and informal education. *Journal of Science Education and Technology*, 16(2), 171-190.
- Falk, J. , Scott, C., Dierking, L., Rennie, L., & Jones, M. (2004). Interactives and visitor learning. *Curator*, 47, 171-198.
- Gerjets, P., Scheiter, K., & Cierniak, G. (2009). The scientific value of cognitive load theory: a research agenda based on the structuralist view of theories. *Educational Psychology Review*, 21, 43-54.
- Gillies, R., & Haynes, M. (2010). Increasing explanatory behaviour, problem-solving, and reasoning within classes using cooperative group work. *Instructional Science*, doi 10.1007/s1125101091309
- Gopher, D., & Braune, R. (1984). On the psychophysics of workload: Why bother with subjective measures? *Human Factors*, 26(5), 519-532.
- Gopher, D., & Donchin, E. (1986). Workload - an examination of the concept. In K. Boff, L. Kaufman , & J. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance* (Vol. II, pp. 41.41-41.49). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Heyne, T., & Bogner, F. (2009a). Guided learning at workstations about drug-prevention with low achievers in science education. (submitted).
- Heyne, T., & Bogner, F. (2009b). Strengthening resistance self-efficacy: influence of teaching approaches and gender on different consumption groups. *Journal of Drug Education* 39(4), 439-457.
- Hofstein, A., & Rosenfeld, S. (1996). Bridging the gap between formal and informal science learning. *Studies in Science Education*, 28, 87-112.
- Janssen, J., Kirschner, F., Erkens, G., Kirschner, P., & Paas, F. (2010). Making the black box of collaborative learning transparent: combining process-oriented and cognitive load approaches. *Educational Psychology Review*, 22, 139-154.

- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38, 23-31.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J., & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 579-588.
- Kirschner, P., Sweller, J., & Clark, R. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.
- Kirschner, F., Paas, F., & Kirschner, P. (2009). Individual and group-based learning from complex cognitive tasks: effects on retention and transfer efficiency. *Computers in Human Behavior*, 25, 306-314.
- Koedinger, K., & Aleven, V. (2007). Exploring the assistance dilemma in experiments with cognitive tutors. *Educational Psychology Review*, 19, 239-264.
- Luehmann, A. (2009). Students' perspectives of a science enrichment programme: out-of-school inquiry as access. *International Journal of Science Education*, 31(13), 1831-1855.
- Moreno, R. (2004). Decreasing cognitive load for novice students: effects of explanatory versus corrective feedback in discovery-based multimedia. *Instructional Science*, 32, 99-113.
- Moreno, R. (2010). Cognitive load theory: more food for thought. *Instructional Science*, 38(2), 135-141.
- O'Donnell, R., & Eggemeier, F. (1986). Workload assessment methodology. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance* (Vol. II, pp. 42.41-42.49). New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Orion, N., & Hofstein, A. (1994). Factors that influence learning during a scientific field trip in a natural environment. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), 1097-1119.
- Ozcinar, Z. (2009). The topic of instructional design in research journals: a citation analysis for the years 1980-2008. *Australasian Journal of Educational Technology*, 25, 559-580.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: a cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429-434.
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors*, 35(4), 737-743.
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: a cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 122-133.
- Paas, F., Van Merriënboer, J., & Adam, J. (1994). Measurement of cognitive load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills*, 79, 419-430.
- Paas, F., Tuovinen, J., Tabbers, H., & Van Gerven, P. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63-71.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2004). Cognitive load theory: instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture. *Instructional Science*, 32, 1-8.
- Paas, F., Tuovinen, J., Van Merriënboer, J., & Darabi, A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: optimizing

- learner involvement in instruction. *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 25-34.
- Paas, F., Van Gog, T., & Sweller, J. (2010). Cognitive load theory: new conceptualizations, specifications, and integrated research perspectives. *Educational Psychology Review*, 22, 115-121.
- Pollock, E., Chandler, P., & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12, 61-86.
- Reeve, J. (1996). *Motivating others - nurturing inner motivational resources* (pp. 19-38 & 170-175 & 201-216). Needham Heights, Massachusetts: Allyn & Bacon.
- Ryan, R., & Deci, E. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25, 54-67.
- Scharfenberg, F.-J., Bogner, F., & Klautke, S. (2006). The suitability of external control-groups for empirical control purposes: a cautionary story in science education research. *Electronic Journal of Science Education*, 11(1), 22-36.
- Scharfenberg, F.-J., Bogner, F., & Klautke, S. (2007). Learning in a gene technology laboratory with educational focus - results of a teaching unit with authentic experiments. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 35(1), 28-39.
- Scharfenberg, F.-J., & Bogner, F. (2010). Instructional efficiency of changing cognitive load in an out-of-school laboratory. *International Journal of Science Education* 32(6), 829-844.
- Schnotz, W. (2010). Reanalyzing the expertise reversal effect. *Instructional Science*, 38(3), 315-323.
- Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory, *Educational Psychology Review* (Vol. 19, pp. 469-508).

- Skinner, E., Kindermann, T., & Furrer, C. (2009). A motivational perspective on engagement and disaffection. *Educational and Psychological Measurement*, 69(3), 493-525.
- Stevens, G. (Ed.) (1975). *Psychophysics - Introduction to its Perceptual, Neural, and Social Prospects*. New York: John Wiley & Sons.
- Sweller, J. (2004). Instructional design consequences of an analogy between evolution by natural selection and human cognitive architecture. *Instructional Science*, 32, 9-31.
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22, 123-138.
- Sweller, J., & Chandler, P. (1991). Evidence for cognitive load theory. *Cognition and Instruction*, 8(4), 351-362.
- Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12(3), 185-233.
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P., & Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 176-192.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Van Gog, T., & Paas, F. (2008). Instructional efficiency: revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist*, 43(1), 16-26.
- Van Merriënboer, J., Jelsma, O., & Paas, F. (1992). Training for reflective expertise: a four-component instructional design model for complex cognitive skills. *Educational Technology: Research and Development*, 40(2), 23-43.

- Van Merriënboer, J., Clark, R., & de Croock, M. (2002). Blueprints for complex learning: The 4C/ID-Model. *Educational Technology, Research, & Development*, 50(2), 39-64.
- Van Merriënboer, J., Schuurman, J., De Croock, M., & Paas, F. (2002). Redirecting learners' attention during training: effects on cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction*, 12, 11-37.
- Van Merriënboer, J., Kester, L., & Paas, F. (2006). Teaching complex rather than simple tasks: balancing intrinsic and germane load to enhance transfer of learning. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 343-352.
- Yeung, A., Jin, P., & Sweller, J. (1997). Cognitive load and learner expertise: split-attention and redundancy effects in reading with explanatory notes. *Contemporary Educational Psychology*, 23, 1-21.

Figure Legends

Fig. 1 Excerpts of Instructional Guidelines (left) and Workbook (right), each referring to workstation 3

Fig. 2 Placement of the lesson in the model of the zone of proximal development (Vygotski 1963); Fig. adapted from Schnotz and Kürschner (2007); *Note:* ^ain terms of “an a priori estimate of the cognitive load” (Paas et al. 2003, p. 64)


Fig. 3 Ratio of correct answers in the pretest (difficulty index) and corrected item-total correlation in the posttest (discrimination index) for each knowledge-test item

Fig. 4 Results of the three knowledge tests one week before (pretest), immediately after (posttest), and six weeks after the lesson (retention test) of the whole sample; ***: $p < 0.001$; dotted line indicates midpoint of the scale


Fig. 5 Pre-knowledge scores of the students in the different clusters; dashed lines indicate quartiles of the whole sample

Fig. 6 Short- and long-term cognitive achievement scores; dashed lines indicate quartiles of the whole sample; **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$


Put three heaped spoons of salt into the small beaker.



Fill the large beaker half-full with ice.




Measure the temperature of the ice:



Put the thermometers into the ice, until the display does not change for 4 seconds.

Note the temperature in your workbook.



3 - Salt-cold!

1) Carry out the experiment with the aid of the Guideline.

2) Insert the temperatures you measured in your experiment.

Pay attention! Sub-zero temperatures!

How cold was the ice at the beginning? _____

How cold was the ice after you added salt? _____

3) Tick the appropriate answer:

The temperature of ice changes if you add salt:

It gets colder. It gets warmer.

Fig. 1

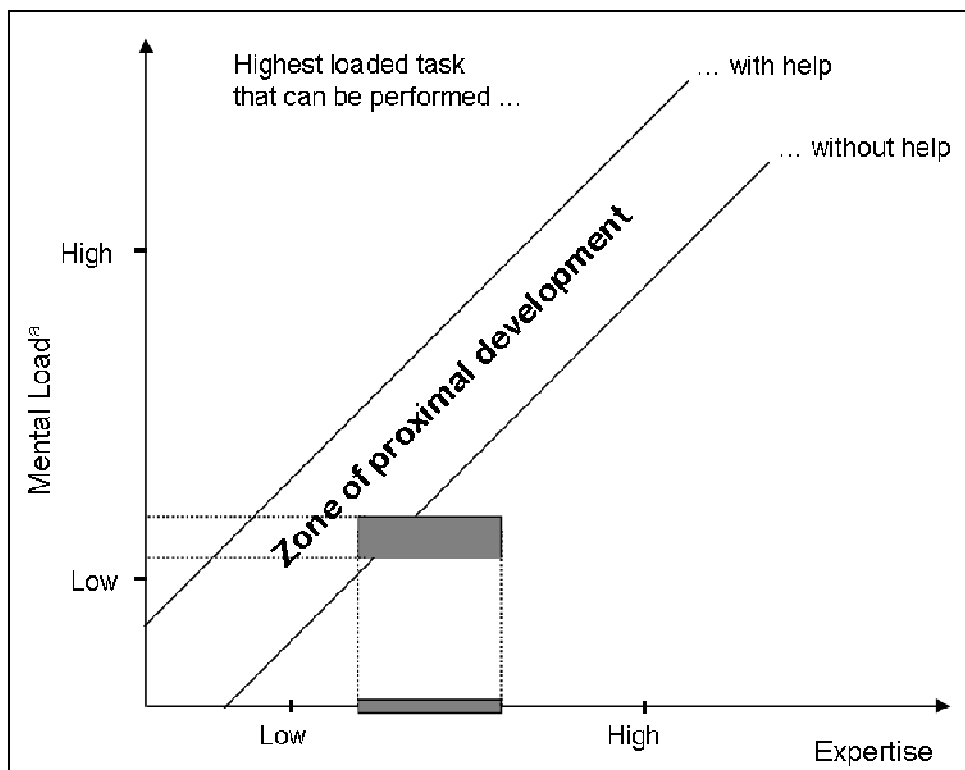


Fig. 2

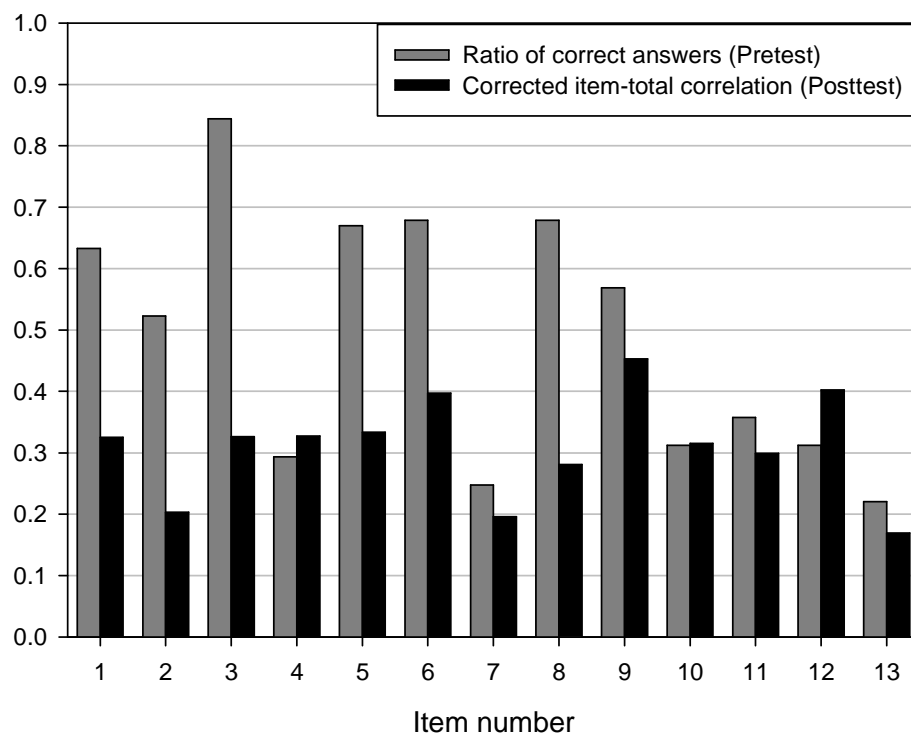


Fig. 3

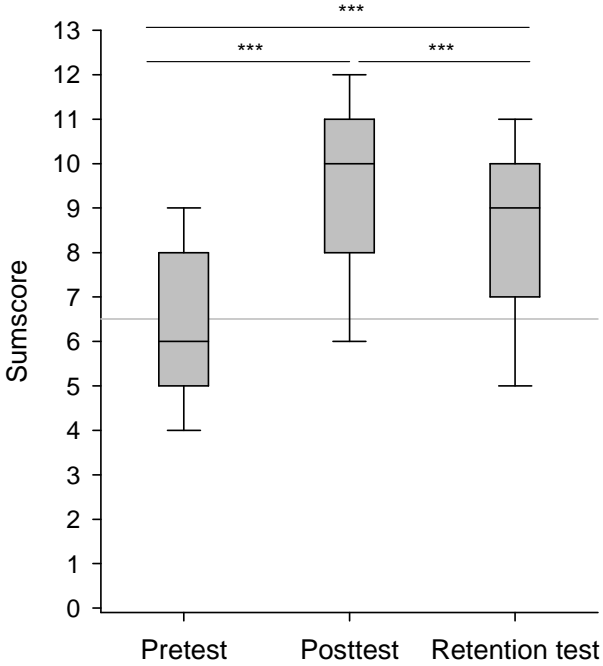


Fig. 4

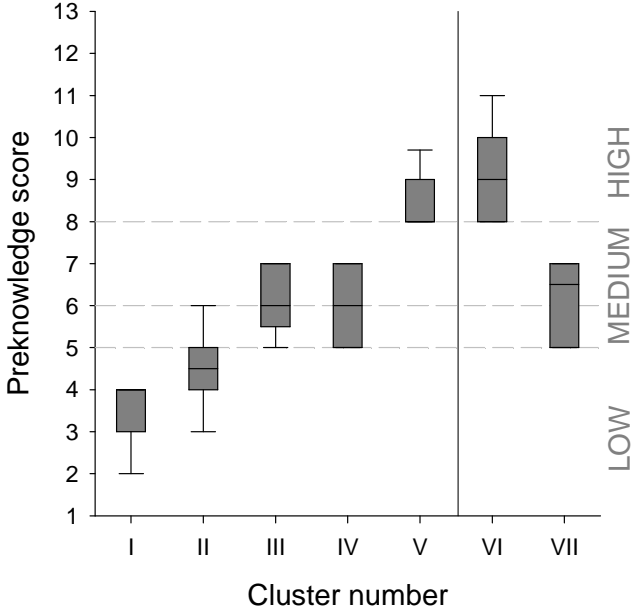


Fig. 5

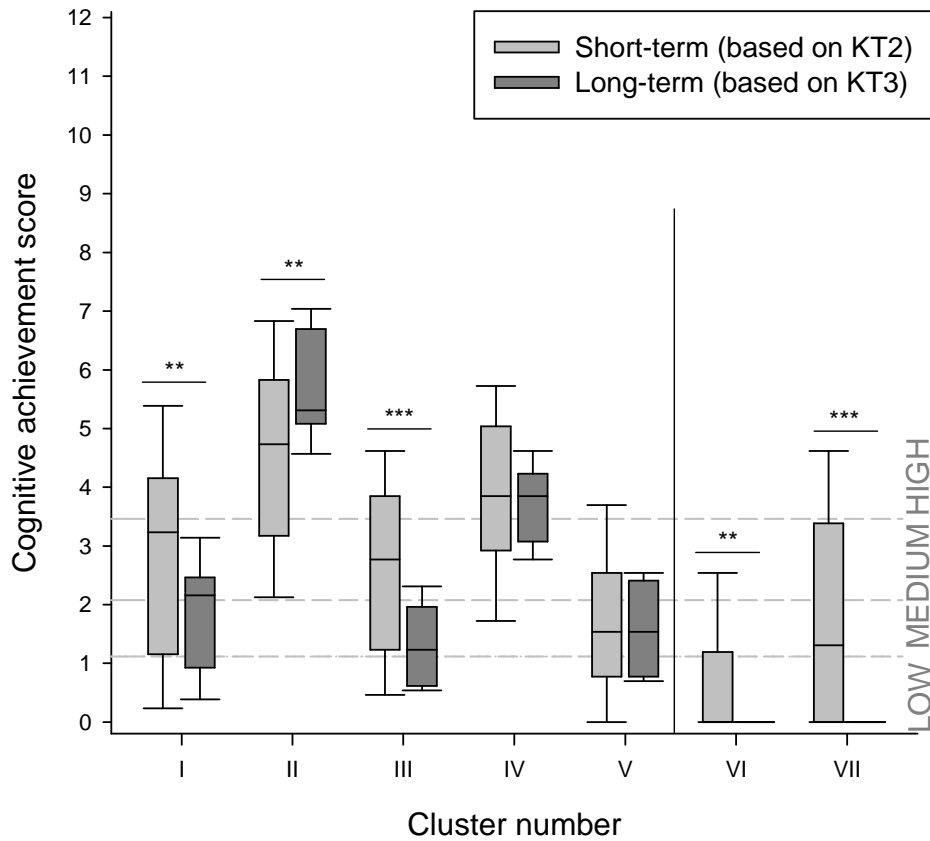


Fig. 6

Table 1 Sample description

	Subsample		
	1	2	3
<i>n</i>	91	104	81
Stratification level	Low	High	Low
Age group	10-12	10-12	13-15
Male/female	54 / 37	30 / 74	44 / 37

Table 2 Examples of knowledge test items

Category	Example
Effect	Which of these conducts electricity the best? Pure salt / Pure water / Rock salt / Saltwater [correct]
Device	What are binoculars used for? To: see things amplified [correct] / dissolve substances / measure indoor and outdoor temperature simultaneously / gauge objects exactly

Table 3 Description of clusters; 'Low': scores < Q1; 'Medium': $Q1 \leq \text{scores} < Q3$; 'High': scores $\geq Q3$ of the whole sample

Cluster	<i>n</i>	Homogeneity [%]	Pre-knowledge	Learning success
I	35	81.6	Low	Low/Medium
II	28	79.8	Low	High
III	61	77.4	Medium	Low/Medium
IV	37	84.5	Medium	Medium/High
V	52	76.7	High	Low/Medium
VI	29	- ^a	High	None
VII	30	- ^a	Medium	None
VIII	4	- ^a	Low	None

^aClusters VI, VII, VIII: artificial clusters without knowledge gain

Table 4 Mean ME scores and standard deviation of each cluster and of the total sample

	I	II	III	IV	V	VI	VII	Total
M	1.82	1.87	2.04	2.16	2.10	1.86	2.19	2.03
SD	0.71	0.70	0.91	0.74	0.73	0.60	0.89	0.79

Table 5 Instructional efficiency mean score of each cluster and comparison with the corresponding residual sample (*T*-test)

	Instructional efficiency		<i>T</i> -Test		
	Cluster	Residual sample	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
I	0.17	0.01		<i>n. s.</i>	
II	1.63	-0.15	-10.2	270	< 0.001
III	-0.22	0.10	2.4	117	0.018
IV	0.60	-0.06	-3.7	207	< 0.001
V	-0.18	0.08	2.0	105	0.044
VI	-0.57	0.10	5.6	57	< 0.001
VII	-0.87	0.14	5.4	270	< 0.001

Table 6 Synthesized description of the seven clusters

Cluster	<i>n</i>	Pre-knowledge	Learning success	Short- to long-term CA ^a change ^b	Mental effort ^b	Instructional efficiency ^b
I	35	Low	Low to medium	-**	-	~
II	28	Low	High	+**	-	+***
III	61	Medium	Low to medium	-***	~	-*
IV	37	Medium	Medium to high	<i>n.s.</i>	+	+***
V	52	High	Low to medium	<i>n.s.</i>	+	-*
VI	29	High	None	-**	-	-***
VII	30	Medium	None	-***	+	-***

Note. ^aCA = cognitive achievement; ^b+ = increase/above-average, ‘-’ = decrease/below-average, ‘~’ = approximately average; **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$.

E.4 Teilarbeit C

Meissner, B. & Bogner, F. X. (2010)

Confirmation of suitable guidance as an important premise in heuristic out-of-school science education

Cognition and Instruction

(submitted)

Running Head: Guidance in Science Learning

**Confirmation of suitable guidance as an important premise in
heuristic out-of-school science education**

Barbara Meissner

University of Bayreuth, Chair of Biology Education

95440 Bayreuth

Phone: ++49(0)921552598

Fax: ++49(0)921552696

barbara.meissner@uni-bayreuth.de

Franz X. Bogner

University of Bayreuth, Chair of Biology Education

95440 Bayreuth

Confirmation of suitable guidance as an important premise in heuristic out-of-school science education

Abstract. Both interactive learning and out-of-school learning require extended cognitive resources of a learner's working memory. In order to improve science learning under highly demanding conditions, we designed a heuristic out-of-school lesson in compliance with cognitive load theory (CLT) guidelines. For example, we chose an adequate level of difficulty and complexity, we avoided split information and redundant elements, and we included high variability, clear guidance, and a motivating teaching style. In a prestudy, we (a) extracted clusters based on the individual effectiveness of the lesson, and (b) analysed instructional efficiency, mental effort, and persistence of learning for each cluster. We identified too little guidance and lack of motivation as the main deficiencies of our lesson. In the present study, we analysed students' behavioural and emotional engagement in order to examine our hypotheses. 50.0 % of our sample showed very satisfying results, 11.2 % were not motivated; 38.8 % could have improved their performance with extended guidance. Presumably, most of them had problems in identifying those contents relevant for learning, some were precarious about their capabilities.

We ascertained CLT – formerly applied mainly in e-learning and mathematics – as a valuable guideline for instructional design in heuristic science education. In addition, we confirmed the importance of active guidance in complex learning settings, a factor to date neglected in many studies. We may advance future research on precise specification of guidance in the framework of CLT, and a general integration of CLT in the field of science education.

Any student-centred, interactive learning requires extended cognitive resources by definition (Hofstein and Lunetta, 2004; Winberg and Berg, 2007): Students may, for example, need to communicate and coordinate their work, and they may face unusual or even unknown activities. At an out-of-school setting, students are in addition confronted with novel surroundings distracting their attention (Orion and Hofstein, 1994). To compensate for these demanding conditions, we based the design of our interactive out-of-school lesson on the principles of cognitive load theory (CLT). We developed five experiments to examine the effects of freezing point depression, electric conductivity, endothermic solvation processes, density increase, and osmotic activity. The aim was to provide basic knowledge about salt (NaCl) together with first experiences with laboratory equipment and self-guided learning. The lesson aimed to enrich the educational programme of a commercial salt mine, and our target group comprised students of different ages (from fifth to eighth grade) and of different stratification levels. After implementation, we analysed the lesson on an individual level (cf. Goldman, 2009). We characterised students according to cognitive and motivational parameters to obtain a footprint of the lesson. In a prestudy, we had focused on the following questions: Does CLT provide sufficient guidelines (with respect to factual knowledge gain) for the instructional design of learning settings with predefined high cognitive load? What are the main deficiencies and how could we avoid them? In the present study, we examined our conclusions of the prestudy with respect to motivation. In the following, we briefly describe how we applied CLT principles for the design of our lesson. We focus on motivational aspects (for a more detailed description see Meissner and Bogner, 2010, submitted). We then introduce our hypotheses on the basis of prestudy results and describe how we examined them.

Each task requires cognitive resources of a learner's working memory which in addition depends on individual learner characteristics. Depending on the resulting cognitive load,

a learner invests a certain amount of mental effort to perform the task. Cognitive load can result from two main causes: (a) Intrinsic cognitive load (ICL) is innate to a task and depends on its difficulty and complexity, (b) extraneous cognitive load (ECL), that does not contribute to learning itself, refers to working memory capacity required to deal with the structure of a task and with the associated activities. A third component, germane cognitive load (GCL), depends on ICL. GCL results from intentional learning processes and refers to the mental effort invested to deal with ICL requirements.

Guidelines for instructional design of demanding tasks aim at achieving adequate levels of intrinsic, reduction of extraneous, and encouragement of germane cognitive load.

(Sweller, van Merriënboer, and Paas, 1998; Sweller, 2010)

To reach an adequate level of ICL implies reaching an adequate level of difficulty and complexity of a task. A subject should be, for example, restructured (van Merriënboer, Schuurman, De Croock, and Paas, 2002) or simplified (Pollock, Chandler, and Sweller, 2002) according to learners' expertise, abilities, and so on. As students of our target group were quite new to the subject, we limited descriptions to the effects observed at a phenomenological level. To reduce cognitive load originating from extraneous factors, split attention (Sweller, Chandler, Tierney, and Cooper, 1990) and redundancy (Chandler and Sweller, 1991; Kalyuga, Ayres, Chandler, and Sweller, 2003) need to be avoided. Hence we provided step-by-step guidelines and prestructured workbook tasks, and consistently excluded redundant information.

To enhance learning processes (i.e., to foster germane cognitive load), a learner's motivation is crucial (Schnotz and Kürschner, 2007). In CLT research, tasks of high variability (contextual interference) and an appropriate level of guidance are known to foster motivation (van Merriënboer, Kester, and Paas, 2006). Our lesson contained a high contextual interference: Students conducted similar experiments (each including salt and water/ice) covering various issues. Prestructured workbook tasks were designed

using completion problems (van Gog and Paas, 2008) to provide clear guidance and to help clarify procedures and outcomes. Additionally, we offered help on demand to answer students' questions. We provided supportive information rather than ready-made solutions.

To further foster students' motivation, we employed an autonomy-supportive teaching style introduced by Reeve (2002). The theoretical background of this teaching style lies within intrinsic motivation research (e.g. Reeve, 1996; Ryan and Deci, 2000). There are three pillars that influence students' intrinsic motivation: perceived competence, autonomy, and relatedness. Perceived competence and autonomy increase if students feel adequately challenged by a task and if they feel they are acting under their own control. The autonomy-supportive teaching style fosters these two components of perceived competence and autonomy: In their study, Reeve and Jang (2006) used a perceived self-determination and competence rating during different lessons in order to develop a list of autonomy-supportive behaviours. They concluded, for example, that teachers need to listen to their students, to foster subject-related conversation with peers, and to give encouraging feedback. An autonomy-supportive teaching style leads to increased intrinsic motivation (Deci, Nezlek, and Sheinman, 1981), more positive state emotions (Patrick, Skinner, and Connell, 1993), and better conceptual learning (Grolnick and Ryan, 1987). We applied an autonomy-supportive teaching style to foster students' motivation, and hence to increase germane cognitive load which in turn should result in increased learning success.

We used CLT principles to optimise learning conditions. After implementation, we characterised students on the basis of cognitive and motivational parameters to identify starting points for improvement. In a prestudy, we had focused on cognitive parameters: We developed clusters according to the individual effectiveness of the lesson, and we analysed students' cognitive achievement and instructional efficiency of the lesson for

each cluster. Our results (cf. Meissner and Bogner, 2010, submitted) indicated that students of two clusters could have improved their performance if they had had more guidance. This explanation may also account for the assumed low motivation of another cluster. Students of a further cluster seemed to have not been motivated at all. The remaining students (three clusters) yielded satisfying results.

As a next step, we examined the presumed conclusions of the prestudy, that is ‘guidance’ and ‘motivation’ as main explanatory concepts for deficiencies in students’ outcomes. We therefore continued with analyses of students’ engagement in the lesson. According to Reeve, Jang, Carrell, Jeon, and Barch (2004), engagement “refers to the behavioral intensity and emotional quality of a person’s active involvement during a task” (p. 147). That is, engagement includes both a behavioural and an emotional dimension. Behavioural engagement, supposed to be “most prototypical of engagement” (Skinner, Furrer, Marchand, and Kindermann, 2008, p. 778), includes actions such as, for example, investing effort, being involved, or paying attention. Emotional engagement involves state emotions, such as interest, enjoyment, or anxiety. Engagement results from intrinsically motivating learning environments. Although perceived autonomy seems to strongly predict emotional engagement, perceived competence mainly contributes to behavioural engagement. In addition, the amount of support – as estimated by teachers – influences behavioural engagement more than emotional engagement. (Skinner et al., 2008)

Description of cognitive clusters of students who participated in the out-of-school lesson suggested both the need for more guidance, and insufficient motivation. In the present study, we examined the results under a motivational point of view and focused on students’ engagement in the lesson. We chose instructional involvement (Paas, Tuovinen, van Merriënboer, and Darabi, 2005) – a motivational construct in the framework of CLT that is based on performance and mental effort scores – as indicator

of students' behavioural engagement. To refine the results, we analysed the state emotions 'interest', 'enjoyment' and 'anxiety' as indicators of emotional engagement. We assumed that students who were not motivated would also show low behavioural and emotional engagement. Students who would have required more guidance were presumably at least emotionally engaged in the lesson, and may even be behaviourally engaged if the lack of guidance was not reflected in low perceived competence.

Cognitive Approach

In the prestudy, we had extracted clusters on the basis of knowledge test data to characterise students. We had selected previous knowledge and learning success as variables. We had then described the clusters on the basis of cognitive achievement, mental effort, and instructional efficiency of the lesson. (Meissner and Bogner, 2010, submitted)

We partially repeated this procedure with a subsample intended for motivational analyses.

Knowledge Test

We applied an ad hoc multiple-choice test to quantify students' preknowledge and knowledge gain. Students completed the knowledge tests one week before (KT1), immediately after (KT2), and six weeks after the out-of-school lesson (KT3). The knowledge test comprised 13 multiple-choice items concerning major outcomes of the workstations. We asked students about the effects observed, the devices used, and about applications of the effects highlighted in workbook tasks. The knowledge test was pilot-tested with 109 students of the fifth grade (high stratification level) who filled in the test one week before and immediately after the lesson (Cronbach's $\alpha = .72$). Knowledge test characteristics and examples of knowledge test items are listed in Table 1.

[Place Table 1 about here]

Cognitive Achievement and Learning Success

The sum-score of correctly answered questions in KT1 quantified the amount of each student's preknowledge. We differentiated learning outcome in short-term cognitive achievement (based on KT2 sum-scores) and long-term cognitive achievement (learning success; based on KT3 sum-scores). For calculation, we applied a weighted difference introduced by Scharfenberg, Bogner, and Klautke (2007), which takes into account ceiling-effects resulting from the limited number of questions. Hence we calculated cognitive achievement as the difference between the sum-scores of KT2 (KT3, resp.) and KT1, multiplied by the quantifier 'sum-score of KT2 (KT3, resp.) / total number of knowledge test items'. Short-term cognitive achievement, for instance, is defined as follows: $(KT2 - KT1) * KT2 / 13$.

As it is changes in long-term memory that characterise learning we employed long-term cognitive achievement as an index of students' learning success.

Mental Effort and Instructional Efficiency

During the lesson, students rated the mental effort invested at each workstation on an unidimensional self-rating scale (Paas, 1992) ranging from 1 (*very low*) to 7 (*very high*). We used mean scores of the five ratings (Cronbach's $\alpha = .67$) as an estimate of average mental effort (ME) throughout the lesson, and for further calculations of instructional efficiency and involvement. Although self-rating scales have been criticised, their validity has been supported by psychophysical theory (Stevens, 1957; Gopher and Braune, 1984).

To estimate the efficiency of the lesson (cf. van Gog and Paas, 2008) we used the method introduced by Paas and van Merriënboer (1993) whereby instructional

efficiency (IE) scores are computed as the difference between z -standardised cognitive achievement (A_z) and mental effort scores (ME_z), divided by square root of 2:

$$IE = (A_z - ME_z) / \text{sqrt}(2) \quad (\text{instructional efficiency})$$

Identical z -scores of A_z and ME_z lead to an IE score of zero that is defined as average IE. Paas and van Merriënboer explained the calculation graphically (cf. Figure 2): With ME_z as abscissa and A_z as ordinate, a line with slope 1 through the origin displays average IE scores. Above- and below-average scores result from the rectangular distance of a point from this line.

We used long-term cognitive achievement scores, students' learning success, for the calculation of IE as we considered a lesson to be more efficient the greater the amount learned persistently is.

As IE scores were normally distributed (Kolmogorov-Smirnov with Lilliefors correction: $p = .07$) we used t -tests to compare the results of each cluster with residual sample mean scores.

Cluster Development

We developed clusters based on students' preknowledge and learning success, as illustrated in Figure 1. First, we divided the students into two groups: (a) students with knowledge gain (learning success > 0) and (b) students without knowledge gain (learning success = 0). Second, we conducted cluster analyses ($c = .84$; $c_{\text{corr}} = .94$) with group (a), which resulted in the extraction of five clusters. We labelled the preknowledge and learning success of the clusters according to the sample's quartiles 'low', 'medium', or 'high' (cf. Table 3). Third, we assigned students without knowledge gain to three 'artificial clusters' with low, medium, and high preknowledge. As the latter comprised only four students, we excluded it from further analyses.

[Place Figure 1 about here]

We used cognitive achievement, mental effort, and instructional efficiency to characterise the seven clusters (Cluster I to V with knowledge gain, clusters VI and VII without knowledge gain). The prestudy results indicated that the lesson could have been improved for some students. We assumed a lack of motivation and guidance to be potential reasons.

Motivational Approach

Subsequent motivational analyses with a subsample of the prestudy sample aimed to examine the conclusions drawn from the prestudy. We used instructional involvement as an indicator of students' behavioural engagement. State emotions (emotional engagement) served to refine the results.

Sample and Implementation

The sample comprised 250 students, 113 boys (45.2 %) and 137 girls (54.8 %).

Students' age ranged between 10 and 15 years ($M_{age} = 11.6$, $SD = 1.6$). In accordance with the target group of the programme, we included students of high (10-12 years old) and low (10-15 years old) stratification level. Students were part of the prestudy sample, that comprised 276 students ($M_{age} = 11.6$, $SD = 1.6$; 46.4 % male, 53.6 % female). 26 (i.e. 9.4 %) incomplete questionnaires were dropped from further analyses.

The students took part in the out-of-school lesson in an external seminar room of a local educational centre. Teachers were offered an opportunity for a half-day school excursion. The programme was not performed at the salt mine itself as we intended to choose neutral surroundings that were unrelated to the topic salt in order to exclude site effects.

To ensure comparability with the former sample we partially repeated the cluster analyses: We conducted k-means cluster-centres analysis, assuming a 5-cluster solution. We calculated contingency c and corrected contingency $c_{\text{corr}} = c/c_{\text{max}}$ ($c_{\text{max}} = \sqrt{(n-1)/n}$; n = number of clusters) to estimate comparability with the prestudy cluster solution.

Students' Engagement

Behavioural Engagement – Calculation of Instructional Involvement.

Behaviourally engaged students are supposed to participate in a lesson and to try to do well (Skinner et al., 2008). Mental effort and performance reflect a student's engagement. As a combination of these two factors, Paas et al. (2005) offered the construct of instructional involvement as an alternative to common self-rating scales. To calculate instructional involvement scores, the sum of z -standardised cognitive achievement and mental effort scores is divided by square root of 2:

$$\text{InsInv} = (A_z + \text{ME}_z) / \sqrt{2} \quad (\text{instructional involvement})$$

Similarly to instructional efficiency, InsInv scores can be displayed in a coordinate system (cf. Figure 3) with ME_z as abscissa and A_z as ordinate. A line with slope -1 through the origin represents average InsInv scores of 0.

As involvement is a short-term, situation-specific variable, we used short-term cognitive achievement scores for the calculation of InsInv.

InsInv scores were normally distributed (Kolmogorov-Smirnov with Lilliefors correction: $p = .20$). Thus, we used t -tests to compare the results of each cluster with residual sample mean scores.

Emotional Engagement - State Emotions Questionnaire

To gain insight in students' emotional engagement (Skinner et al., 2008) during the lesson we analysed the subscales 'interest', 'well-being', and 'anxiety' of the state-

emotions questionnaire (Laukenmann, 2003), using a four-point Likert scale (1 = *not at all right* to 4 = *completely right*). The students filled in the questionnaire immediately after the lesson, together with KT2. As well-being contains two items measuring joy and two items measuring satisfaction (cf. Table 2), we suggest the term ‘enjoyment’ for this subscale.

As the data were not normally distributed we applied the nonparametric Mann-Whitney U test for between-group comparisons. We were specifically interested in emotional engagement of students of clusters I, III, and VII. As cluster II showed exemplary results we used this cluster as a prototype of optimally engaged students with optimal cognitive achievement.

[Place Table 2 about here]

Results

Compliance With Prestudy Results

Comparison of the two 5-cluster solutions of the prestudy sample and the new sample showed high contingency ($c = .85$, $c_{\text{corr}} = .95$) between the two solutions. Additionally, we calculated the contingency of the 5-cluster solutions plus the artificial clusters of students without knowledge gain: this led to even higher contingency coefficients ($c = .92$, $c_{\text{corr}} = .99$).

Cognitive Characterisation

In the following, we present results for the cognitive description of the new sample to facilitate understanding. We obtained the seven clusters described in Table 3. The two clusters with rather low preknowledge (clusters I and II) showed medium or high learning success. We found three clusters with medium preknowledge scores (clusters

III, IV, and VII). They comprised students with learning success from none (cluster VII) to high (cluster IV). Clusters V and VI with high preknowledge scores yielded low to medium learning success and no learning success, respectively.

[Place Table 3 about here]

Results of IE calculations are shown in Figure 2. Clusters II and IV had significantly above-average IE (II: $t = -9.4$, $df = 248$, $p < .001$; IV $t = -3.5$, $df = 248$, $p = < .001$). IE was average for students of clusters I and III, and significantly below-average for students of clusters V, VI, and VII (V: $t = 2.8$, $df = 248$, $p = .005$; VI: $t = 5.2$, $df = 58$, $p < .001$; VII: $t = 5.2$, $df = 248$, $p < .001$).

As can be seen in Figures 2 and 3, ME of clusters IV, V, and VII was slightly above-average (i.e. positive ME scores; *n. s.*), and ME of clusters I, II, III, and VI was slightly below-average (i.e. negative ME scores; *n. s.*).

[Place Figure 2 about here]

Instructional Involvement

Most of the clusters, namely clusters I, III, V, and VII, achieved average instructional involvement scores (Figure 3). Only the instructional involvement of cluster VI was significantly below-average ($t = 7.4$, $df = 44$, $p < .001$), while instructional involvement of both clusters II and IV were significantly above-average (II: $t = -3.6$, $df = 248$, $p < .001$; IV: $t = -4.4$, $df = 73$, $p < .001$).

[Place Figure 3 about here]

Interest, Enjoyment, and Anxiety

Students of the whole sample showed high interest and enjoyment scores (interest: Q1 – 2.75, Q2 – 3.25, Q3 – 3.75; enjoyment: Q1 – 3.00, Q2 – 3.75, Q3 – 4.00; Q = Quartile), and low anxiety scores (Q1 – 1.00, Q2 – 1.25, Q3 – 1.75).

We were mainly interested in the emotional engagement of students of clusters I, III, and VII with similar InsInv scores. We defined cluster II as the reference as students of this cluster revealed highly desirable results. Nevertheless, there were no significant differences in students' interest between clusters II and clusters I, III, and VII, respectively. Students of cluster VII had significantly lower enjoyment-scores than students of cluster II ($Z = -2.63, p = .009$). Clusters I, III, and VII each revealed significantly higher anxiety-scores, compared to cluster II (I: $Z = -2.69, p = .007$; III: $Z = -2.90, p = .004$; VII: $Z = -3.37, p = .001$). Figure 4 illustrates these results.

[Place Figure 4 about here]

Discussion

Recently, there have been many discussions about the capabilities and limitations of cognitive load theory (CLT; e. g. de Jong, 2010; Gerjets, Scheiter, and Cierniak, 2009; Moreno, 2010; Schnotz and Kürschner, 2007). However, CLT has proven to be a valuable theory of instructional design (Gerjets et al., 2009; Ozcinar, 2009; Paas, van Gog, and Sweller, 2010), investigated especially in the fields of mathematics and e-learning. The guidelines that have been presented in the present article – balancing intrinsic, reducing extraneous, enhancing germane cognitive load – have been confirmed in various studies (e.g. Kalyuga, 2007; Kalyuga, Chandler, Tuovinen, and Sweller, 2001; Paas and van Merriënboer, 1994; Sweller and Chandler, 1994; van Merriënboer et al., 2006). In accordance with Ayres and Paas (2009), who encouraged

the interdisciplinary extension of CLT, we applied CLT principles to a heuristic out-of-school science lesson. As a first step to value CLT as a guideline for hands-on science education, we characterised students of our sample to gain insight into cognitive and affective outcomes of a CLT-based lesson. Results of a cognitively oriented prestudy suggested ‘guidance’ and ‘motivation’ as main starting points for improvements. The motivational refinements of the present study confirmed lack of guidance as the main deficiency of our lesson: 50.0 % of the sample, students of clusters II, IV, and V, with different levels of preknowledge from low to high, showed very satisfactory learning success (cf. Table 4). For the case of students of cluster V with high preknowledge and only low to medium learning success it must be considered that – due to the already high scores in the pretest one week before the lesson – students could not have answered many more questions correctly in the knowledge tests after the lesson. In this case, then, low to medium learning success can be assumed a good result.

[Place Table 4 about here]

Students of clusters I and III, 27.2 % of the sample, showed about average instructional efficiency (IE; cf. Figure 2). That is, related to the mental effort invested, cognitive achievement was adequate. As learning success was only medium we assume that students could have performed better if they had invested more mental effort. As instructional involvement (InsInv), that quantifies behavioural engagement, was about average for both clusters I and III (cf. Figure 3) we can assume that students could have improved their performance had they had more guidance. If students had not been motivated to invest more mental effort, InsInv scores would have been lower. We can assume a similar explanation for students of cluster VII, 11.6 % of the students, with medium preknowledge scores: IE was significantly below-average (i.e. related to the

mental effort invested, cognitive achievement was too low), but InsInv was about average, indicating that students were engaged in the lesson. We can therefore propose lack of guidance as the explanation of the poor performance. Students of cluster VI, 11.2 % of the whole sample, had both below-average IE and below-average InsInv. Seemingly, neither was the lesson efficient for these students, nor did they engage in the lesson. The low engagement confirms our prestudy assumption that an expertise-reversal effect (Kalyuga et al., 2003, Schnotz, 2010, Sweller, 2010) may have caused these deficiencies: As their preknowledge was high, students may have been exposed to a high amount of redundant information so that they may not have recognised relevant information. Thus, the lesson may have appeared to be uninteresting for the students, which resulted in their opting out.

In summary, we can say that 50.0 % of the students showed good results, 11.2 % were not motivated, and 38.8 % may have needed more guidance. Lack of guidance seems to be the main deficiency of the CLT-based science lesson. As InsInv scores of students of clusters I, III and VII were similar, we assume the same cause, a lack of guidance, for their deficiencies. However, IE scores of these three clusters were quite different (cf. Table 4): While IE scores of clusters I and III were slightly above-average and roughly average, cluster VII yielded below-average IE scores. Apparently the reasons why more guidance is necessary for these students may differ. Nevertheless, the intention is the same: Students need to recognise how to deal with the educational content more effectively, which presumably results in increased mental effort reflecting more complex learning processes. Because of the average IE scores of clusters I and III, we suppose that these students could easily improve their performance if they invested more mental effort. Reduced mental effort may result from previous experiences with presumably similar learning situations: If students already have conceptions about how much effort is required for a learning task they may not invest more effort than they

suppose to be necessary (Paas et al., 2005). These “performance-goal-oriented learners” (Paas et al., p. 28) only try to satisfy the demands specified by the teacher in order to be good at school. Another mechanism that may lead to reduced mental effort is the result of learners not knowing how to cope with the learning material. Learners tend either to concentrate on unimportant, less demanding issues, or they opt out completely as they feel overchallenged and perceive little control over their success or failure (Clark, Howard, and Early, 2006). We can exclude the latter possibility as, if students had opted out, they would not have been engaged in the lesson.

We analysed the state emotions interest, enjoyment, and anxiety as indicators of emotional engagement to describe the clusters in more detail (cf. Table 4). Both clusters I and III showed no significant differences to the ‘prototype-cluster’ II in their interest and enjoyment, but did show increased anxiety. We can therefore assume that perceived familiarity with required demands did not account for the reduced mental effort.

Students rather seem to have switched their attention to less demanding issues as they did not know how to deal with the learning material. This could be explained by a split-attention effect (Kalyuga et al., 2001, Sweller and Chandler, 1994): Students were mainly busy with hands-on activities so that they did not succeed in capturing information of workbook tasks (cf. Kirschner, Sweller, and Clark, 2006). Active communication with students, and asking specific questions about the learning outcomes of the workstations may help to integrate active learning processes – that is, germane cognitive load – in students’ performance of the workstations.

Students of cluster VII, compared to their learning success, showed relatively high mental effort, which resulted in below-average IE. Thus, mental effort was not reduced, but inappropriately high. In this case, worry – one aspect of anxiety – may have caused an “interference effect [...] on attention” (Eysenck and Calvo, 1992, p. 410): Worry may have reduced working memory capacity on the one hand, on the other hand

students may nevertheless have tried to cope with task demands by investing additional mental effort (cf. Eysenck and Calvo, 2005). The importance of worry is confirmed by the increased anxiety and the decreased enjoyment of students of this cluster (cf. Table 4). Students may have been overchallenged by the lesson and may have needed clear verbal instructions on what to do, and continuous encouraging feedback.

Based on emotional engagement analysis, we identified two reasons why students of clusters I, III, and VII may have required more guidance during the lesson: Students of clusters I and III may not have succeeded in holding to the course set as they mainly concentrated on hands-on activities. Students of cluster VII may have been worried about failures, resulting in decreased working memory capacity for cognitive processes. In research on school science laboratories, the aspect of adequate guidance to students during a lesson has been neglected (Lunetta, Hofstein, and Clough, 2007), as is the case in CLT research beyond the field of e-learning. Van Merriënboer et al. (2006) theoretically specified possible characteristics of guidance based on a differentiation between high and low expertise learners, and between complex and simple tasks. They considered high task variability and limited guidance and feedback as motivating factors to enhance germane cognitive load (GCL), as did we in our heuristic science lesson. They found that both high variability and limited guidance and feedback foster learning processes as long as task complexity does not exceed working memory capacity. Van Merriënboer et al. endorsed GCL enhancing practices during complex tasks, as such approaches improve transfer learning. They recommended modifications of complex tasks to reduce complexity rather than exclusion of GCL enhancing methods. As extraneous complexity of heuristic out-of-school settings can not be manipulated and reduction of extraneous and intrinsic cognitive load of learning materials has been shown to be insufficient, we infer that despite the recommendations of van Merriënboer et al., guidance at a highly demanding setting needs to be expanded. Further

specification of guidance in the field of science education is needed and may be subject of future research on CLT in science education. Kirschner et al. (2006) have – among others (e.g. Klahr and Nigam, 2004; Moreno, 2004) – already demonstrated the importance of such adequately developed guidance that leads learners to identify relevant information and to achieve educational objectives. Goldman (2009) pointed to the importance of individual learner characteristics. Possibilities may be a stronger emphasis on self-explanations (Renkl, Hilbert, and Schworm, 2009, Sweller, 2010) than prompting task-related discussion among peers, or students' training on how to discuss in group and how to build arguments (Gillies and Haynes, 2010).

References

- Ayres, P., & Paas, F. (2009). Interdisciplinary perspectives inspiring a new generation of cognitive load research. *Educational Psychology Reviews*, 21, 1-9.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(3), 293-332.
- Clark, R., Howard, K., & Early, S. (2006). Motivational challenges experienced in highly complex learning environments. In J. Elen & R. Clark (Eds.), *Handling complexity in learning environments: theory and research* (pp. 27-42). Amsterdam: Elsevier.
- Deci, E., Nezlek, J., & Sheinman, L. (1981). Characteristics of the rewarder and intrinsic motivation of the rewardee. *Journal of Personality and Social Psychology*, 40, 1–10.
- de Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Instructional Science*, 38 (2), 105-134.
- Eysenck, M., & Calvo, M. (1992). Anxiety and performance: the processing efficiency theory. *Cognition and Emotion*, 6(6), 409-434.

- Gerjets, P., Scheiter, K., & Cierniak, G. (2009). The scientific value of cognitive load theory: A research agenda based on the structuralist view of theories. *Educational Psychology Review*, 21, 43-54.
- Gillies, R., & Haynes, M. (2010). Increasing explanatory behaviour, problem-solving, and reasoning within classes using cooperative group work. *Instructional Science*, doi: 10.1007/s11251-010-9130-9.
- Goldman, S. (2009). Explorations of relationships among learners, tasks, and learning. *Learning and Instruction*, 19, 451-454.
- Gopher, D., & Braune, R. (1984). On the psychophysics of workload: Why bother with subjective measures? *Human Factors*, 26(5), 519-532.
- Grolnick, W., & Ryan, R. (1987). Autonomy in children's learning: An experimental and individual difference investigation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 52, 890-898.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88, 28-54.
- Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational Psychology Reviews*, 19, 509-539.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38, 23-31.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J., & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 579-588.
- Kirschner, P., Sweller, J., & Clark, R. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.

- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction - effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15, 661-667.
- Laukenmann, M., Bleicher, M., Fuß, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, P., & von Rhöneck, C. (2003). An investigation of the influence of emotional factors on learning in physics instruction. *International Journal of Science Education*, 25(4), 489-507.
- Lunetta, V., Hofstein, A., & Clough, M. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. In S. Abell & N. Ledermann (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 393-442). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Meissner, B., & Bogner, F. (2010). Towards cognitive load theory as a guideline for instructional design in heuristic science education. Manuscript submitted for publication.
- Moreno, R. (2004). Decreasing cognitive load for novice students: Effects of explanatory versus corrective feedback in discovery-based multimedia. *Instructional Science*, 32, 99-113.
- Moreno, R. (2010). Cognitive load theory: More food for thought. *Instructional Science*, 38(2), 135-141.
- Orion, N., & Hofstein, A. (1994). Factors that influence learning during a scientific field trip in a natural environment. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), 1097-1119.
- Ozcinar, Z. (2009). The topic of instructional design in research journals: A citation analysis for the years 1980-2008. *Australasian Journal of Educational Technology*, 25, 559-580.

- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429-434.
- Paas, F., Tuovinen, J., van Merriënboer, J., & Darabi, A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: Optimizing learner involvement in instruction. *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 25-34.
- Paas, F., van Gog, T., & Sweller, J. (2010). Cognitive load theory: New conceptualizations, specifications, and integrated research perspectives. *Educational Psychology Review*, 22, 115-121.
- Paas, F., & van Merriënboer, J. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors*, 35(4), 737-743.
- Paas, F., & van Merriënboer, J. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 122-133.
- Patrick, B., Skinner, E., & Connell, J. (1993). What motivates children's behavior and emotion? Joint effects of perceived control and autonomy in the academic domain. *Journal of Personality and Social Psychology*, 65, 781–791.
- Pollock, E., Chandler, P., & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12, 61-86.
- Reeve, J. (1996). *Motivating others - nurturing inner motivational resources* (pp. 19-38, 170-175 & 201-216). Needham Heights, Massachusetts: Allyn & Bacon.
- Reeve, J. (2002). Self-determination theory applied to educational settings. In E. Deci & R. Ryan (Eds.), *Handbook of self-determination research* (pp. 183-204). Rochester, NY: University of Rochester Press.

- Reeve, J., & Jang, H. (2006). What teachers say and do to support students autonomy during a learning activity. *Journal of Educational Psychology*, 98(1), 209-218.
- Reeve, J., Jang, H., Carrell, D., Jeon, S., & Barch, J. (2004). Enhancing students' engagement by increasing teachers' autonomy support. *Motivation and Emotion*, 28(2), 147-169.
- Renkl, A., Hilbert, T., & Schworm, S. (2009). Example-based learning in heuristic domains: A cognitive load theory account. *Educational Psychology Review*, 21, 67-78.
- Ryan, R., & Deci, E. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25, 54-67.
- Scharfenberg, F.-J., Bogner, F., & Klautke, S. (2007). Learning in a gene technology laboratory with educational focus - results of a teaching unit with authentic experiments. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 35(1), 28-39.
- Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory, *Educational Psychology Review*, 19, 469-508.
- Skinner, E., Furrer, C., Marchand, G., & Kindermann, T. (2008). Engagement and disaffection in the classroom: Part of a larger motivational dynamic? *Journal of Educational Psychology*, 100(4), 765-781.
- Stevens, G. (Ed.). (1975). *Psychophysics - Introduction to its Perceptual, Neural, and Social Prospects*. New York: John Wiley & Sons.
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22, 123-138.
- Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12(3), 185-233.

- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P., & Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 176-192.
- Sweller, J., van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- van Gog, T., & Paas, F. (2008). Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist*, 43(1), 16-26.
- van Merriënboer, J., Kester, L., & Paas, F. (2006). Teaching complex rather than simple tasks: Balancing intrinsic and germane load to enhance transfer of learning. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 343-352.
- van Merriënboer, J., Schuurman, J., De Croock, M., & Paas, F. (2002). Redirecting learners' attention during training: Effects on cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction*, 12, 11-37.
- Winberg, T., & Berg, C. (2007). Students' cognitive focus during a chemistry laboratory exercise: Effects of a computer-simulated prelab. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(8), 1108-1133.

Figure Legends

Figure 1. Overview of the prestudy cluster formation.

Figure 2. Instructional efficiency (IE) scores of each cluster, shown as the distance from the mean IE line (dashed). We used *t*-tests to examine statistical significance. *: $p < .05$, **: $p < .01$, ***: $p < .001$.

Figure 3. Instructional involvement (InsInv) scores of each cluster, shown as the distance from the mean InsInv line (dashed). We used *t*-tests to to examine statistical significance. *: $p < .05$, **: $p < .01$, ***: $p < .001$.

Figure 4. Enjoyment and anxiety scores of cluster II (as a reference sample), and clusters I, III, and VII; dashed line indicates midpoint of the scale; **: $.001 \leq p < .01$ (Mann-Whitney U test).

Table 1

Core data of the knowledge test as results of a pilot-testing with 109 5th graders, and examples of knowledge test items

Knowledge test characteristics		
Reliability ^a	Difficulty index ^b	Discrimination index ^c
.72	22 – 84 %	.36
Examples of knowledge test questions		
Which of these conducts electricity the best?		
Pure salt / Pure water / Rock salt / Saltwater [correct]		
What are binoculars used for? To:		
see things amplified [correct] / dissolve substances / measure indoor and outdoor temperature simultaneously / gauge objects exactly		

^aCronbach's alpha. ^bnumber of correct answers per question. ^ccorrected item-total correlation.

Table 2

Subscales of the state-emotions questionnaire

Subscale	Reliability ^a		Example
Interest	.83	Cognitive interest	The lesson was interesting for me.
		Value	I found that topic important.
Enjoyment ^b	.86	Joy	I enjoyed the lesson.
		Satisfaction	For me it was a good lesson.
Anxiety	.55	Worry	The lesson frightened me.
		Emotionality	Several events alarmed me.

^aCronbach's alpha. ^boriginally 'Well-being'.

Table 3

Cluster description

	I	II	III	IV	V	VI	VII
<i>n</i>	24	25	44	42	58	28	29
Pre-knowledge	Low	Low/ Medium	Medium	Medium	High	High	Medium
Learning success	Medium	High	Low/ Medium	Medium/ High	Low/ Medium	None	None

Table 4

Overview of results of clusters I, III, and VII, that presumably required more guidance during the lesson

Cluster	<i>n</i>	IE ^a	InsInv ^a	Interest ^b	Enjoyment ^b	Anxiety ^b
I	24	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	+**
III	44	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	+**
VII	29	-***	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	-**	+**

Note. +: above, -: below reference score. **: $p < .01$, ***: $p < .001$.

^aDeviations with reference to residual sample mean score. ^bDeviations with reference to scores of 'prototype-cluster' II.

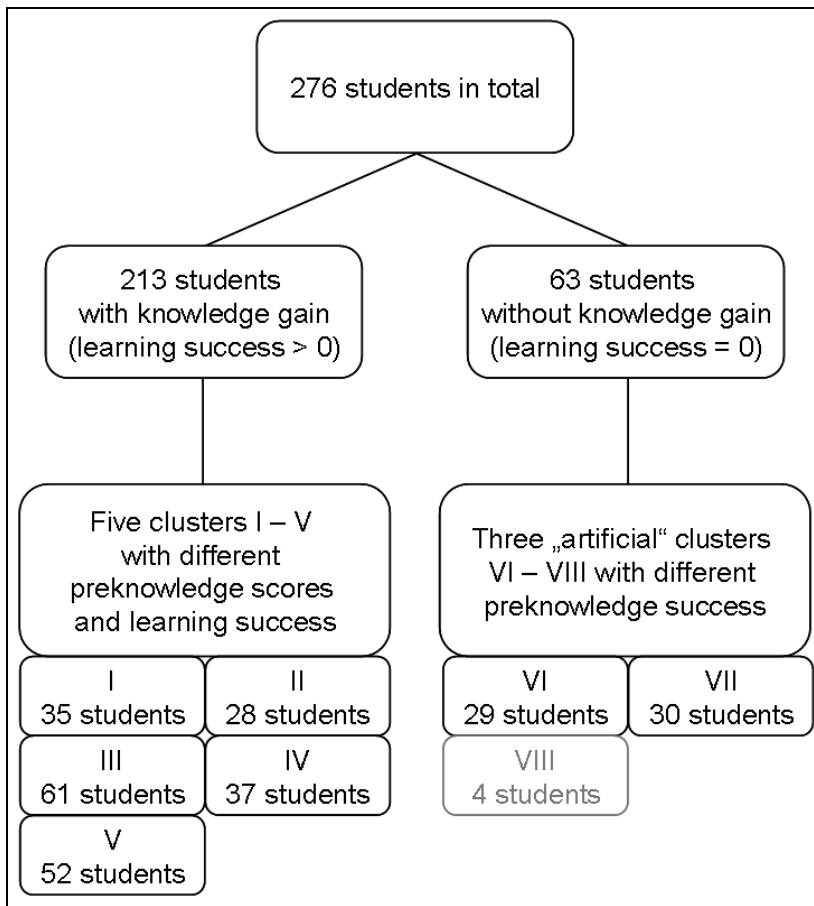


Figure 1

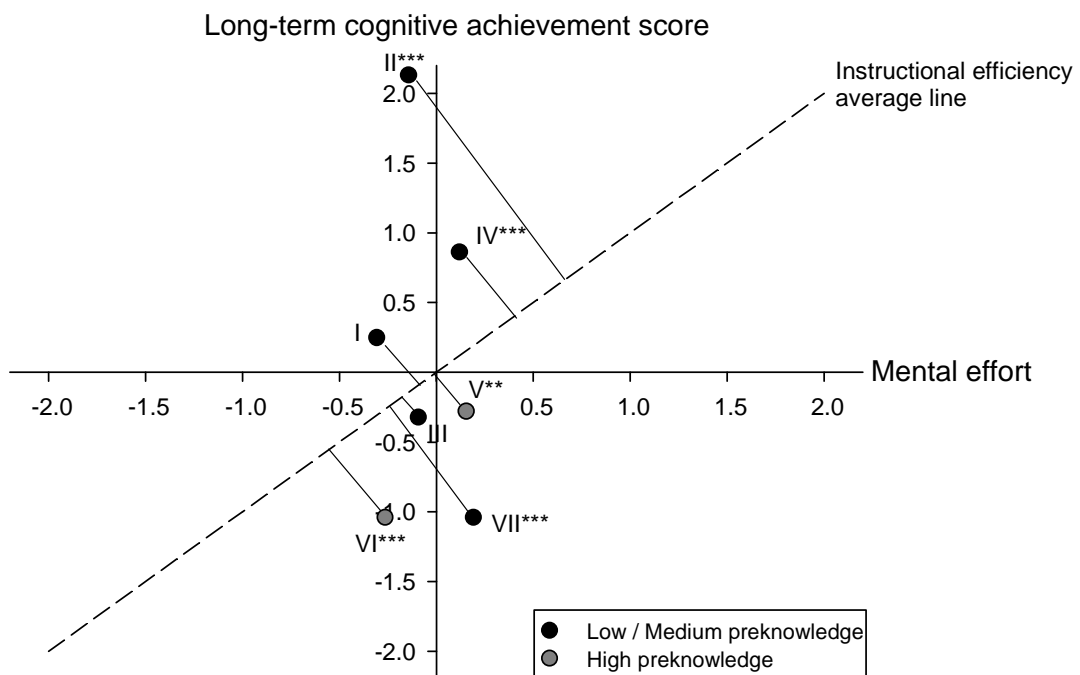


Figure 2

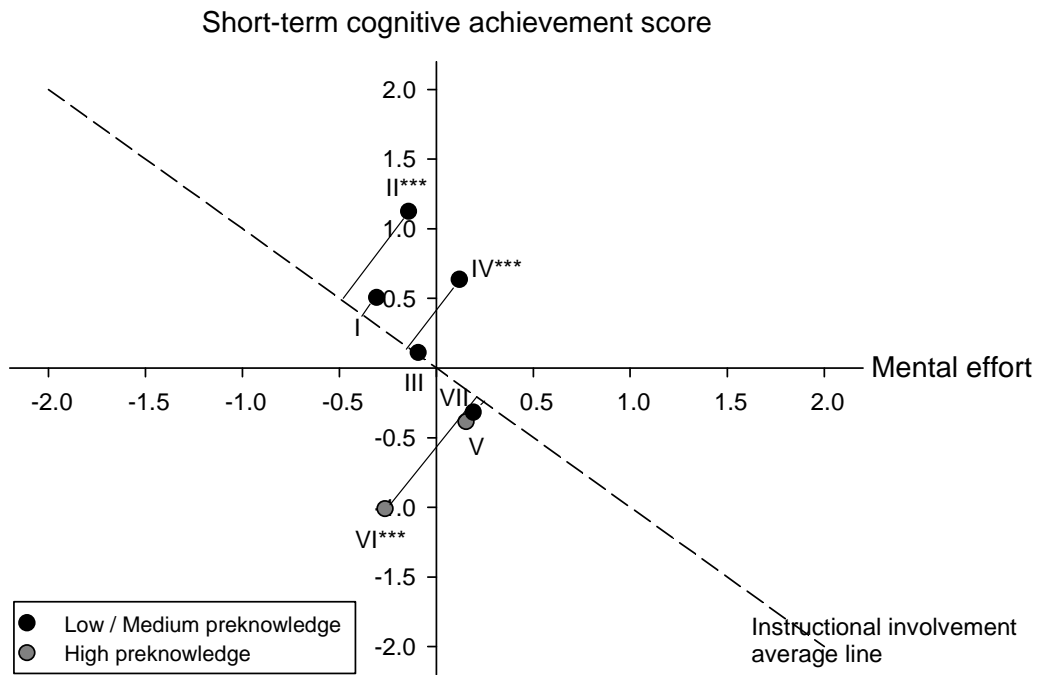


Figure 3

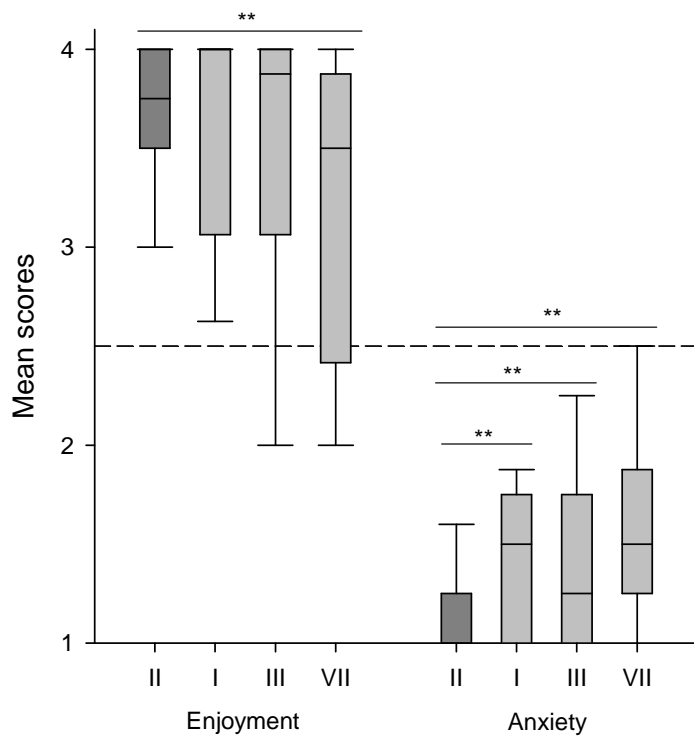


Figure 4

F Anhang

Inhalte der Pflichtstationen

(s. n. S.)

Tabelle F-1. Überblick über die Pflichtstationen 1-5 des Lernen an Stationen ‚Kochsalz – salzig und mehr‘

#	Titel	Thema	(Labor-) Gerät	Inhalte	Kognitive Lernziele ¹
1	Eisfrei	Gefrierpunkts- absenkung	Binokular	Unter dem Binokular können die Schüler beobachten, dass Eis schneller schmilzt, wenn man Salz darauf streut. Durch den Vergleich von zwei Fotos erkennen die Schüler, dass Streusalz Pflanzen aber auch schaden kann.	Die Schüler sollen beschreiben und erläutern können („Salz schmilzt Eis“), was sie unter dem Binokular beobachtet haben. Sie sollen erläutern können, dass Streusalz für Pflanzen schädlich sein kann. Sie sollen die Funktion eines Binokulars nennen können.
2	Meine Nerven	Elektrische Leitfähigkeit	Stromkreis	Die Schüler testen die elektrische Leitfähigkeit von Kochsalz/destilliertem Wasser/Salzwasser mit einem einfachen Stromkreis. Der Zusammenhang zur Reizweiterleitung in Nervenzellen wird hergestellt.	Die Schüler sollen die elektrische Leitfähigkeit der verschiedenen Substanzen nennen können. Sie sollen drei Bestandteile eines Stromkreises nennen (Stromquelle, Elektroden, Messgerät) können.
3	Salzkalt	Temperatur- absenkung	Thermo- meter	Mit einem digitalen Thermometer halten die Schüler die Temperaturen von Eis vor und nach der Zugabe von Kochsalz fest. An der Differenz erkennen sie, dass die Temperatur stark sinkt.	Die Schüler sollen die Temperaturänderung beschreiben können.
4	Schiffbruch	Dichte	Magnet- rührer	Mit Hilfe eines Magnetrührers stellen die Schüler selbst aus Salz und Wasser hochkonzentrierte Sole her. Deren erhöhte Dichte wird mit Hilfe eines Eies nachgewiesen, der Begriff der Dichte wird kurz vorgestellt.	Die Schüler sollen die Schwimmfähigkeit eines Eies in Leitungswasser bzw. Sole erläutern („Das Wasser wird dichter“) können. Sie sollen die Funktion eines Magnetrührers beschreiben können.
5	Seenot	Osmose	PC	In einem kurzen Film (Demonstrationsversuch) sehen die Schüler, dass Salz auf einer Gurkenscheibe mit der Zeit nass wird. Eine Animation verdeutlicht, dass Salz Wasser entzieht. Die Schüler übertragen dies selbständig auf die Situation eines Schiffbrüchigen, der nur Meerwasser trinkt.	Die Schüler sollen die Veränderungen auf der Gurkenscheibe mit Salz beschreiben können. Sie sollen die Ursache nennen („Salz entzieht Zellen Wasser“) können. Sie sollen erläutern können, wieso man kein Meerwasser trinken sollte.

¹Weiterhin werden für jede Station formale (psychomotorische) und affektive Lernziele im Sinne einer Förderung der Methoden- (fachgemäße Arbeitsweisen) und Sozialkompetenz (Gruppenarbeit) und der Freude an Naturwissenschaften/naturwissenschaftlichem Arbeiten angestrebt.

Fragebögen

Code

❖ Welches Datum ist heute (Tag & Monat)? Bsp.: 21.02.	<input type="text"/>
❖ In welcher Klasse bist du? Bsp.: 5 a	<input type="text"/>
❖ Du bist ein...	... Mädchen <input type="checkbox"/> ... Junge <input type="checkbox"/>
❖ Wann bist du geboren (Monat & Jahr)? Bsp.: Juni 1997	<input type="text"/>
❖ Mit welchen zwei Buchstaben beginnt der Name deiner Mutter? Bsp.: SA bei Sabine	<input type="text"/>
❖ Welche Hausnummer habt ihr?	<input type="text"/>

Wissensfragen

Wozu benutzt man ein Binokular?	
<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Um Innen- und Außentemperatur gleichzeitig zu bestimmen. <input type="radio"/> Um Gegenstände genau abzumessen. <input type="radio"/> Um Dinge vergrößert zu sehen. <input type="radio"/> Um Substanzen zu lösen. 	
Welchen Nachteil hat Streusalz?	
<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Es senkt den Reifendruck der Autos. <input type="radio"/> Es schadet den Pflanzen am Straßenrand. <input type="radio"/> Es verursacht Atemwegsallergien. <input type="radio"/> Es macht den Straßenbelag rutschig. 	
Was passiert mit Eis, wenn man Salz darauf streut?	
<input type="radio"/> Es wird wärmer.	<input type="radio"/> Es taut.

- Es wird fest. Gar nichts.

Welche Aussage ist falsch?

- Ohne Salz könnten unsere Nervenzellen keine Signale weitergeben.
 Wenn man nur Meerwasser trinkt, verdurstet man.
 Salz ist für Zellen und somit für alle Lebewesen lebensnotwendig.
 Salz liefert unserem Körper lebenswichtige Vitamine.

Alle Zellen enthalten Salz. Welche besondere Funktion übernimmt es in den Nervenzellen? Das Salz ...

- ... stellt Botenstoffe zur Signalweiterleitung her.
 ... bildet die Hülle der Nervenzellen.
 ... leitet die elektrischen Signale weiter.
 ... steuert die Bildung neuer Nervenzellen.

Was leitet elektrischen Strom am besten?

- Salzwasser Reines Kochsalz Reines Wasser Steinsalz

Was passt nicht in einen Stromkreis?

- Elektrode Stromquelle Stromlinie Batterie

Verändert sich die Temperatur von Eis, wenn man Salz zugibt?

- Nur, wenn man sehr viel Salz zugibt. Ja, sie wird höher.
 Ja, sie wird niedriger. Nein, sie bleibt gleich.

Welches Wasser besitzt die größte Dichte?

- Leitungswasser Destilliertes Wasser
 Meerwasser Mineralwasser

Im Toten Meer geht ein Mensch nicht unter, im Mittelmeer z. B. schon. Wieso?

- Das Mittelmeer enthält kein Salz .
 Das Tote Meer enthält kein Salz .
 Das Mittelmeer enthält weniger Salz als das Tote Meer.
 Das Tote Meer enthält weniger Salz als das Mittelmeer.

Wenn man Salz in Wasser löst, dann wird das Wasser ...

- ... dunkler. ... dichter. ... instabil. ... zähflüssig.

Welche Aussage ist falsch?

- Ohne Salz könnten unsere Nervenzellen keine Signale weitergeben.
- Wenn man nur Meerwasser trinkt, verdurstet man.
- Salz ist für Zellen und somit für alle Lebewesen lebensnotwendig.
- Salz liefert unserem Körper lebenswichtige Vitamine.

Was geschieht, wenn man Salz auf ein Stück Apfel streut?

- Das Salz bewirkt, dass sich der Apfel rötlich verfärbt.
- Das Salz wird vom Fruchtfleisch des Apfels komplett aufgenommen.
- Das Salz entzieht den Zellen des Apfels Wasser.
- Das Salz reagiert mit Vitaminen des Apfels zu einem Bitterstoff.

Was bewirkt Salz? Es ...

- | | |
|---|--|
| <input type="radio"/> ... gibt Wasser ab. | <input type="radio"/> ... baut Wasser ab. |
| <input type="radio"/> ... bildet Wasser. | <input type="radio"/> ... entzieht Wasser. |

Lernemotionen (Laukenmann et al. 2003)

Subskala Interesse

- Der heutige Unterricht hat mich interessiert.
- Ich möchte mehr über das Thema erfahren.
- Ich fand das Thema wichtig.
- Was ich über das Thema erfahren habe, bringt mir was.

Subskala Wohlbefinden

- Die Stunde hat mir Freude gemacht.
- Der Unterricht hat mir Spaß gemacht.
- Ich war mit der Stunde zufrieden.
- Es war für mich eine gute Stunde.

Subskala Langeweile

- Ich habe mich gelangweilt.
- Ich war mit den Gedanken heute öfter woanders.
- Die Stunde hat heute ewig gedauert.
- Die Stunde war zum Einschlafen.

Subskala Angst

- In der Stunde haben mich einige Dinge beunruhigt.
- Der Unterricht hat mir Angst gemacht.
- Ich habe mich in der Stunde unter Druck gefühlt.
- Der Unterricht hat mich heute nervös gemacht.

Intrinsic Motivation Inventory (University of Rochester 2010)

Subskala Anstrengung/Wichtigkeit:

- Ich habe mich sehr angestrengt.
- Ich habe mich nicht sehr bemüht, um bei dieser Tätigkeit gut zu sein.
- Ich habe mich sehr bemüht bei dieser Tätigkeit.
- Es war wichtig für mich, bei dieser Aufgabe gut zu sein.
- Ich habe nicht sehr viel Energie in diese Tätigkeit gesteckt.

Subskala Druck/Anspannung

- Ich habe mich während dieser Tätigkeit überhaupt nicht nervös gefühlt.
- Ich fühlte mich während dieser Tätigkeit sehr angespannt.
- Ich war in dieser Tätigkeit sehr entspannt.
- Ich war ängstlich, während ich an dieser Aufgabe gearbeitet habe.
- Ich fühlte mich während dieser Tätigkeit unter Druck.

Subskala Nutzen/Brauchbarkeit

- Ich glaube, diese Tätigkeit könnte von einigem Wert für mich sein.
- Ich denke, dass die Ausübung dieser Tätigkeit nützlich ist für _____.
- Ich denke, es ist wichtig das zu tun, denn es kann ___ miteinander verbinden.
- Ich wäre bereit, das noch einmal zu tun, weil es einigen Nutzen für mich hat.
- Ich denke, diese Tätigkeit auszuüben kann mir dabei helfen, _____ zu verstehen.
- Ich glaube, das Ausüben dieser Tätigkeit könnte nützlich für mich sein.
- Ich denke, das ist eine wichtige Tätigkeit.

Arbeitsanleitungen („Leitfaden“) und Arbeitsheft („Laborbuch“)

(s. n. S.)

Anmerkung: Die Stationen 6 bis 10 sind Zusatzstationen für schnellere Gruppen, die die Stationen 1 bis 5 vor Ablauf der Unterrichtszeit abgeschlossen haben. Sie hängen inhaltlich nicht mit den Pflichtstationen 1 bis 5 zusammen.

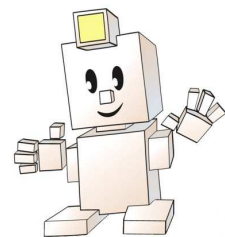
Arbeitsanleitungen	S. 121
Arbeitsheft	S. 145

Leitfaden



Wenn man im Winter Streusalz auf den Straßen verteilt, sollte das Eis verschwinden.

Was denkt ihr – was geschieht mit dem Eis, wenn man Salz darauf streut? Hat das Streusalz noch andere Auswirkungen?



Weiter geht es auf der nächsten Seite

Leitfaden



Und so funktioniert es:

1.

Füllt zwei Schälchen mit Eis und drückt es mit der Eisschaufel leicht an.

Über eines der beiden Eisfelder streut ihr nun einen halben Löffel voll **Salz**.

Beobachtet dabei beide Eisfelder.

Seht ihr schon einen Unterschied?

Nehmt nun das Eisfeld ohne Salz.

Nun betrachtet Eine(r) von euch die Kristalle mit dem Bino.

Nach einer Weile streut ein(e) Gruppenpartner(in) mit dem Löffel **ein paar Körnchen**

Salz auf das Eis.



Was beobachtet ihr? Notiert es in eurem Laborbuch.

Löst die Aufgaben auf den Seiten 3 und 4 eures
Laborbuchs.

2.

→ Leert eure Eisfelder in das Spülbecken,

→ bringt das Stationenmaterial zurück.

AUF ZUR NÄCHSTEN STATION!

1 - Eisfrei!



Diese Kresse wurde mit Leitungswasser gegossen.

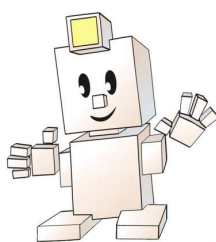
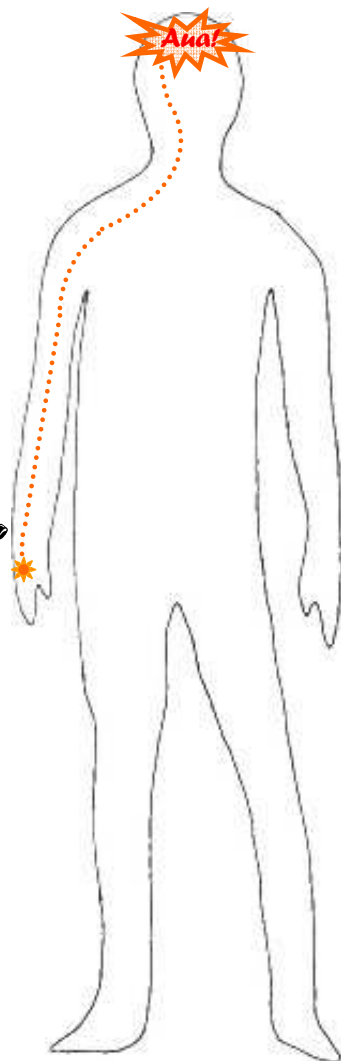


Diese Kresse wurde mit Salzwasser gegossen.

Leitfaden

2
Meine
Nerven!

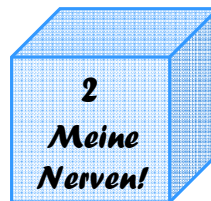
Das Salz in unserem Körper übernimmt vor allem in unseren *Nervenzellen* eine wichtige Funktion: Es leitet Signale weiter.



Was denkt ihr – wie kann Salz so etwas bewirken?

Weiter geht es auf der nächsten Seite

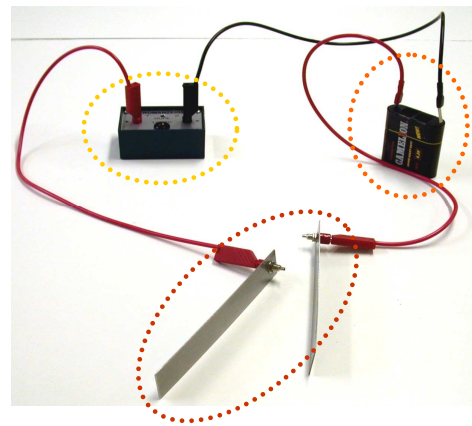
Leitfaden



Und so funktioniert es:

1.

Ein Stromkreis ist schon vorbereitet.
 Als Stromquelle besitzt er eine **Batterie**.
 Der **Stromanzeiger** gibt dir an, ob Strom
 fließt. Die zwei **Elektroden** sind die
 „Meßfühler“ des Stromkreises.



Becherglas 1



Becherglas 2

Spült nun zwei große Bechergläser mit destilliertem
Wasser aus. Trocknet sie gründlich ab.

Stellt die Bechergläser dann nebeneinander auf und füllt
 sie bis zur Hälfte mit destilliertem Wasser.

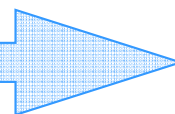
Becherglas 2 wird zu **Salzwasser**:

Gebt dazu einen halben Löffel Kochsalz in das Becherglas.

Rührt mit dem Rührstab gut um.

Jetzt ist etwa genauso viel Salz im Wasser, wie in unseren Nervenzellen.

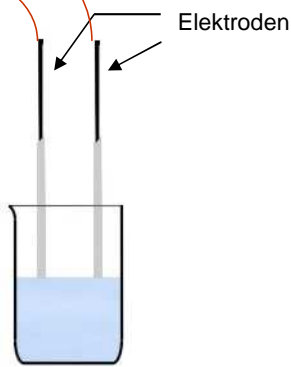
Weiter geht es auf der nächsten Seite



Leitfaden



Achtet genau auf den Stromanzeiger:



Haltet beide Elektroden gleichzeitig zuerst in eure Dose mit dem Salz, dann in Becherglas 1 und dann in Becherglas 2.

Dabei dürfen sich die Elektroden NICHT berühren.



Trocknet die Elektroden ab jetzt **jedes Mal ab**, wenn ihr sie noch einmal in ein Becherglas gehalten habt!



Schreibt eure Beobachtungen in der Tabelle in eurem Laborbuch auf. Löst auch die Aufgaben auf Seite 6 eures Laborbuchs

2.

- Leert das Wasser in das Spülbecken,
- spült Becherglas 2 aus,
- bringt das Stationenmaterial zurück.

AUF ZUR NÄCHSTEN STATION!

Leitfaden



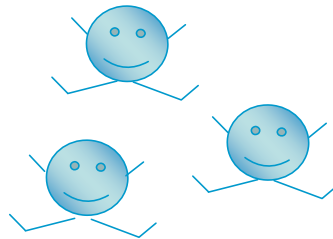
Stell' dir vor, du wärst ein Wasserteilchen.

Wenn du herumrennst und tobst, dann wird dir warm.

Wenn du aber nur dastehst und dich nicht bewegst, dann wird dir kalt.

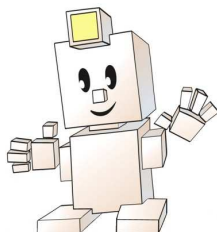
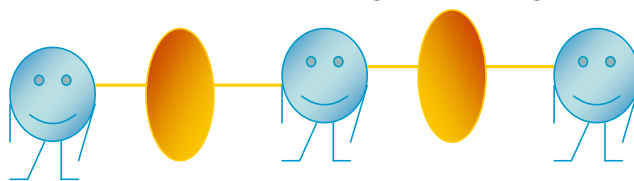
Bei Wasser ist es ähnlich:

Das Wasser ist warm,
wenn sich die Wasserteilchen
schnell bewegen.



Das Wasser, oder auch Eis, wird kälter, wenn man Salz dazugibt -
Das Lösen des Salzes kostet Energie:

Die Wasserteilchen bewegen sich langsamer.



**Glaubt ihr das, oder ist das alles Blödsinn –
Kann Salz Eis abkühlen?**

Weiter geht es auf der nächsten Seite

Leitfaden



Und so funktioniert es:

1.

Gebt in das kleine Becherglas
drei gut gehäufte Löffel Kochsalz.

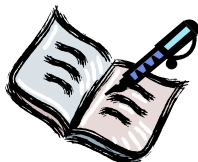


Füllt das große Becherglas zur Hälfte mit Eis.



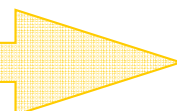
Messt nun die Temperatur des Eises –

Haltet dazu das Thermometer so lange in das Eis, bis
sich die Anzeige 4 Sekunden lang nicht mehr verändert.



Notiert die Temperatur in eurem Laborbuch.

Weiter geht es auf der nächsten Seite



Leitfaden



Gebt jetzt schnell das abgewogene Salz zu der Mischung.

Rührt sofort mit dem Rührstab um.

Messt nun wieder die Temperatur – Verändert sie sich?



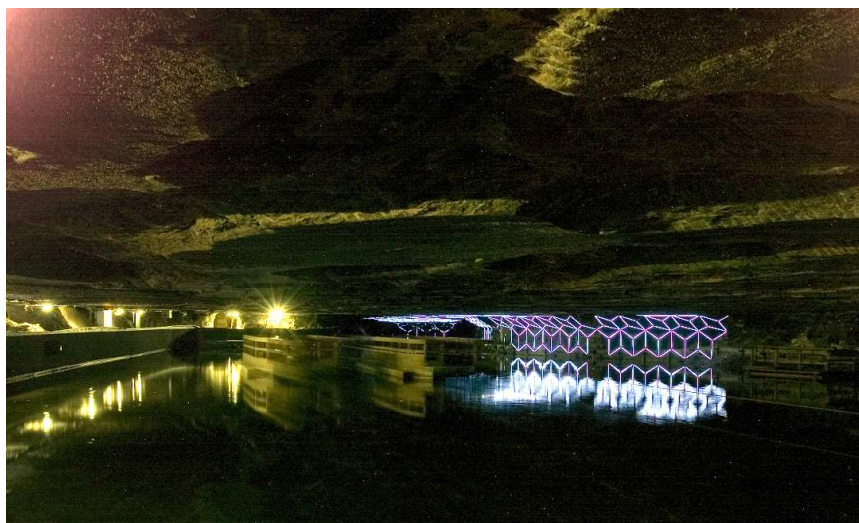
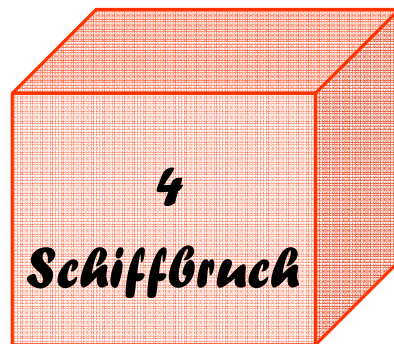
**Notiert die Temperatur in eurem Laborbuch.
Löst die Aufgaben auf den Seiten 7 und 8 eures
Laborbuchs.**

2.

- Leert das Eis aus dem Becherglas in das Spülbecken,
- spült das Becherglas aus,
- bringt das Stationenmaterial zurück.

AUF ZUR NÄCHSTEN STATION!

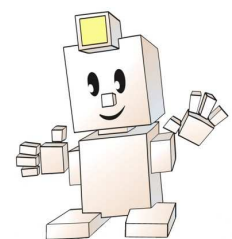
Leitfaden



Die Fähre legt nach der Überquerung des Salzsees an.

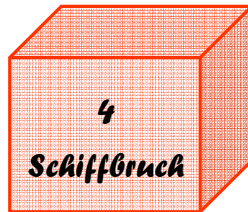
Zu der Führung durch das Bergwerk gehört auch die Fahrt über den Spiegelsee. Dieser ist voller Sole, also sehr salzhaltigem Wasser. Genau gesagt beträgt der Salzgehalt 27 % (das ist beinahe ein Drittel!), also fast so viel wie im Toten Meer.

**Was denkt ihr – Kann man untergehen,
wenn man in den Salzsee fällt?**



Weiter geht es auf der nächsten Seite

Leitfaden



Und so funktioniert es:

1.

Bereitet euren eigenen Salzsee vor:

Legt einen Magneten in eines der Bechergläser.

Füllt das Becherglas bis zur Hälfte mit Leitungswasser.

Gebt 20 Löffel Salz in das Wasser.

Stellt das Becherglas auf den Magnetrührer und dreht das Rädchen **LANGSAM** auf.



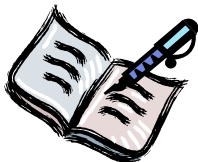
Während das Salz sich löst,
könnt ihr schon einmal weitermachen

2.

Schwimmt das Ei in Süßwasser, wie in einem Schwimmbad oder See?

Nehmt ein zweites Becherglas und füllt es bis zur Hälfte mit Wasser.

Legt das Ei in das Wasser.

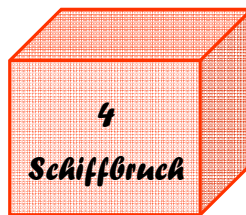


Was passiert?

Notiert die Beobachtung in eurem Laborbuch.

Weiter geht es auf der nächsten Seite

Leitfaden



3.

Schwimmt das Ei in hochkonzentriertem Salzwasser, wie z.B. dem Spiegelsee?

Wartet, bis das Salzwasser auf dem Magnetrührer klar ist.

Dreht das Rädchen des Magnetrührers **LANGSAM** auf 0.

Nehmt das Becherglas vom Magnetrührer und legt das Ei hinein.



Was passiert jetzt? Notiert die Beobachtung in eurem Laborbuch. Löst die Aufgaben auf Seite 10 eures Laborbuches.

4.

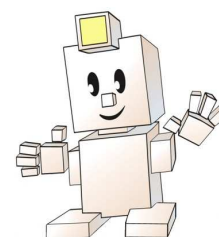
- Nehmt die Eier aus den Bechergläsern und trocknet sie ab,
- leert das Wasser aus den Bechergläsern in das Spülbecken,
- spült das Becherglas, in dem das Salzwasser war, aus,
 - bringt das Stationenmaterial zurück.

AUF ZUR NÄCHSTEN STATION!

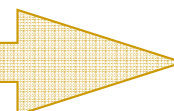
Leitfaden



*Was glaubt ihr –welche Lebensmittel
enthalten besonders viel Salz, welche
besonders wenig?*



Weiter geht es auf der nächsten Seite



Leitfaden



~ Infotext ~

Auf dem Tisch sind Bilder von Lebensmitteln, die auf der Rückseite **grün** oder **rot** sind.

Findet die Namen der Lebensmittel.

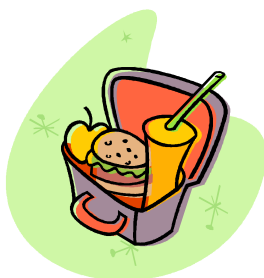
Ordnet sie in eurem Laborbuch dem richtigen Salzgehalt zu.

Dabei gilt:

Rot = Hoher Salzgehalt **Grün = Niedriger Salzgehalt**



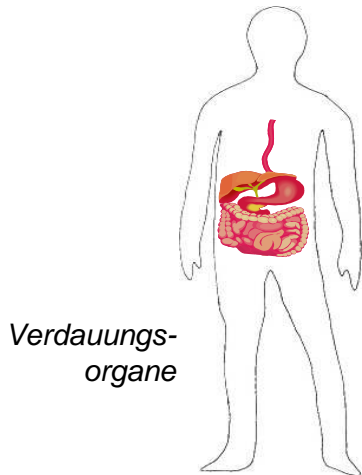
Notiert die Ergebnisse in der Übersicht in eurem
Laborbuch!



In allen Nahrungsmitteln und Getränken
ist Kochsalz enthalten. **Beim Essen und
Trinken nehmen wir das „versteckte“
Kochsalz mit auf.**

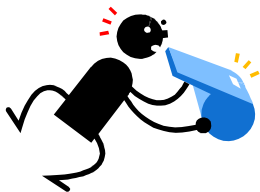
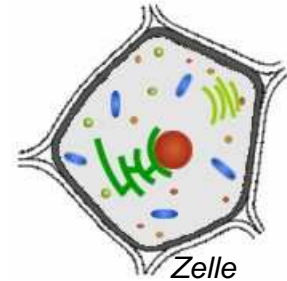
Weiter geht es auf der nächsten Seite

Leitfaden



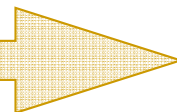
Während der Verdauung gelangt das Kochsalz über den **Magen** in den **Dünndarm** und von dort ins **Blut**.

Vom Blut aus gelangt es in die **Zellen unseres Körpers**.
Für diese ist es lebensnotwendig, da es die Aufnahme und Abgabe von Wasser regelt.

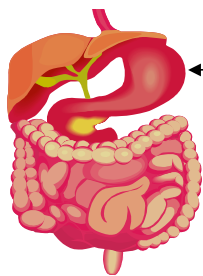


Besonders **Nervenzellen** brauchen das Kochsalz: Zur Weiterleitung von Signalen.

Weiter geht es auf der nächsten Seite



Leitfaden



Magen

Aber auch im **Magen** spielt es eine große Rolle:
Aus dem Kochsalz wird die **Magensäure** gebildet.

Auch die **Nieren** brauchen Kochsalz, um zu regulieren, wieviel Wasser sie zur Blase weiterleiten.



Niere

Wir **verlieren** Salz über alle **Körperflüssigkeiten**, wie z.B. Urin oder Tränen.
Deshalb müssen wir auch immer neues Salz aufnehmen, um die Verluste auszugleichen.

Weiter geht es auf der nächsten Seite

Leitfaden



Bei anstrengendem **Sport** ist der **Verlust** an Kochsalz über den Schweiß sehr hoch. Auch **Wasser** geht dabei verloren. Um die Verluste auszugleichen, müssen wir sehr viel trinken.



Diese Aufnahme von Salz ist so **einzigartig**, dass wir sogar einen **eigenen Geschmackssinn** dafür besitzen - „salzig“

Leitfaden

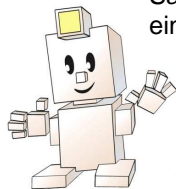
7
Jahr-
millionen



Salzkristalle am Ufer der Assalsee,
einem Salzsee in Ostafrika



Der Salzsee „Salar de Uyuni“ hat während
der Trockenzeit kein Wasser – übrig bleibt
eine Salzwüste.

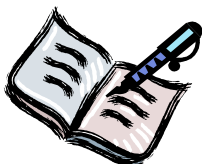


Was denkt ihr –

Was haben diese beiden Bilder mit der Vergangenheit zu tun?

Und so funktioniert es:

Auf dem Tisch sind vier Bilder vorbereitet, die euch zeigen, wie die
Salzlager in der Erde entstanden sind.

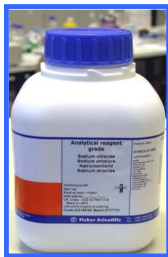


**Beschriftet die Bilder in eurem Laborbuch. Bringt dann
die Sätze unter den Bildern in die richtige Reihenfolge
und findet so das Lösungswort.**

Leitfaden

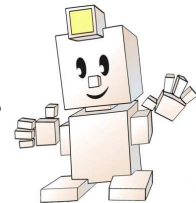


„Salz“ ist ein **Überbegriff** für viele verschiedene Stoffe, Kochsalz ist einer davon.



Reines Kochsalz findet man nur im **Labor**. In der Natur ist Kochsalz immer mit anderen Zusätzen versetzt. So entstehen die verschiedenen Formen von Kochsalz.

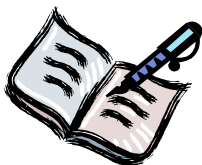
Kennt ihr verschiedene Formen von Kochsalz?



Und so funktioniert es:

In dem „Salzbaum“ in eurem Laborbuch findet ihr neben einigen der Bilder Lücken. Sucht euch auf dem Tisch das entsprechende Bild heraus.

Auf der Rückseite ist die gesuchte Kochsalz-Form „versteckt“.

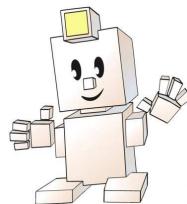


Lest die Texte durch und findet die Lösungen für das Bilderrätsel eures Salzbaums.

Leitfaden



**Heutzutage ist das Kochsalz sehr billig,
jeder von euch hat etwas davon zu
Hause. Doch wie sah das früher aus?**



Und so funktioniert es:

In eurem Laborbuch ist ein Rätsel vorbereitet. Setzt die Begriffe ein, die in den Sätzen über dem Rätsel fehlen. Benutzt als Hilfe den ausliegenden Infotext.

Hier ein Beispiel: „Eine der Salzstraßen führte von Bad . . . nach Augsburg.“
Das fehlende Wort lautet: Reichenhall. Es ist bereits im Kreuzworträtsel eingetragen.

Die farbig unterlegten Felder sind nummeriert. Übertragt die Buchstaben in diesen Feldern in die Lösungsworte unter dem Kreuzworträtsel.



**Löst das Kreuzworträtsel in eurem Laborbuch
und findet die Lösungsworte heraus!**

9 - Salzgeschichte

Infotext - Salz in der Vergangenheit

In früher Urzeit ernährten sich die Menschen hauptsächlich von Fleisch, das auch ihren Salzbedarf deckte. Als die Menschen begannen mehr Obst und Gemüse zu essen, änderte sich das: Pflanzliche Nahrung enthält wenig Salz. Deshalb mussten die Menschen zusätzlich Salz aufnehmen. Indem sie Wildtieren folgten, gelangten sie zu natürlichen Solequellen oder Stellen mit salzreichem Gestein.

Erstmals die Kelten gründeten Salzbergwerke - so auch im Dürrenberg bei dem heutigen Salzburg. Ihre Bezeichnung für Salz, „Hal“, findet sich in vielen Ortsnamen wieder: **Hallstadt**, **Hallein**, **Bad Reichenhall**,

Nach der Eroberung durch die Römer kam der Salzabbau im Dürrenberg zum Erliegen, da die Römer lieber Meersalz importierten. Die Römer gaben das Salz z. B. zu Gemüse, um den bitteren Geschmack abzumildern. Der Begriff „**Salat**“ hat hier seinen Ursprung und bedeutet eigentlich „Gesalzenes“. Auch bei der Herstellung von Schinken wurde Salz zugegeben, um ihn haltbar zu machen.

Im Mittelalter übernahm die Kirche die Wiedereröffnung vieler Salzbergwerke und die Kontrolle des Salzhandels. Die alten Handelswege gewannen an Bedeutung: Die „via salaria“ in Italien, der „goldene Steig“ von Passau nach Böhmen, und die beiden Salzstraßen von Lüneburg nach Lübeck und von Bad Reichenhall nach Augsburg.

An diesen Strecken entstanden auch wichtige Zentren, die mit den Erträgen aus dem Salzhandel erbaut wurden, so z.B. München oder Salzburg. Da das Salz in dieser Zeit so wertvoll war, kam es auch zu vielen Machtkämpfen und Kriegen um die Handels- und Abbaurechte. Deshalb nannte man Salz auch **das weiße Gold!**

Leitfaden

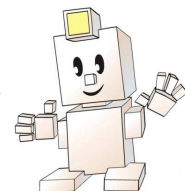


Salz ist lebenswichtig.

Salz aus dem Salzstreuer essen wir aber kaum.

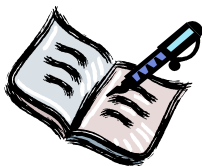
Das Salz, das wir brauchen, nehmen wir über Lebensmittel auf.

*Was denkt ihr – Aus welchen
Lebensmitteln bekommen wir
unser Salz?*



Und so funktioniert es:

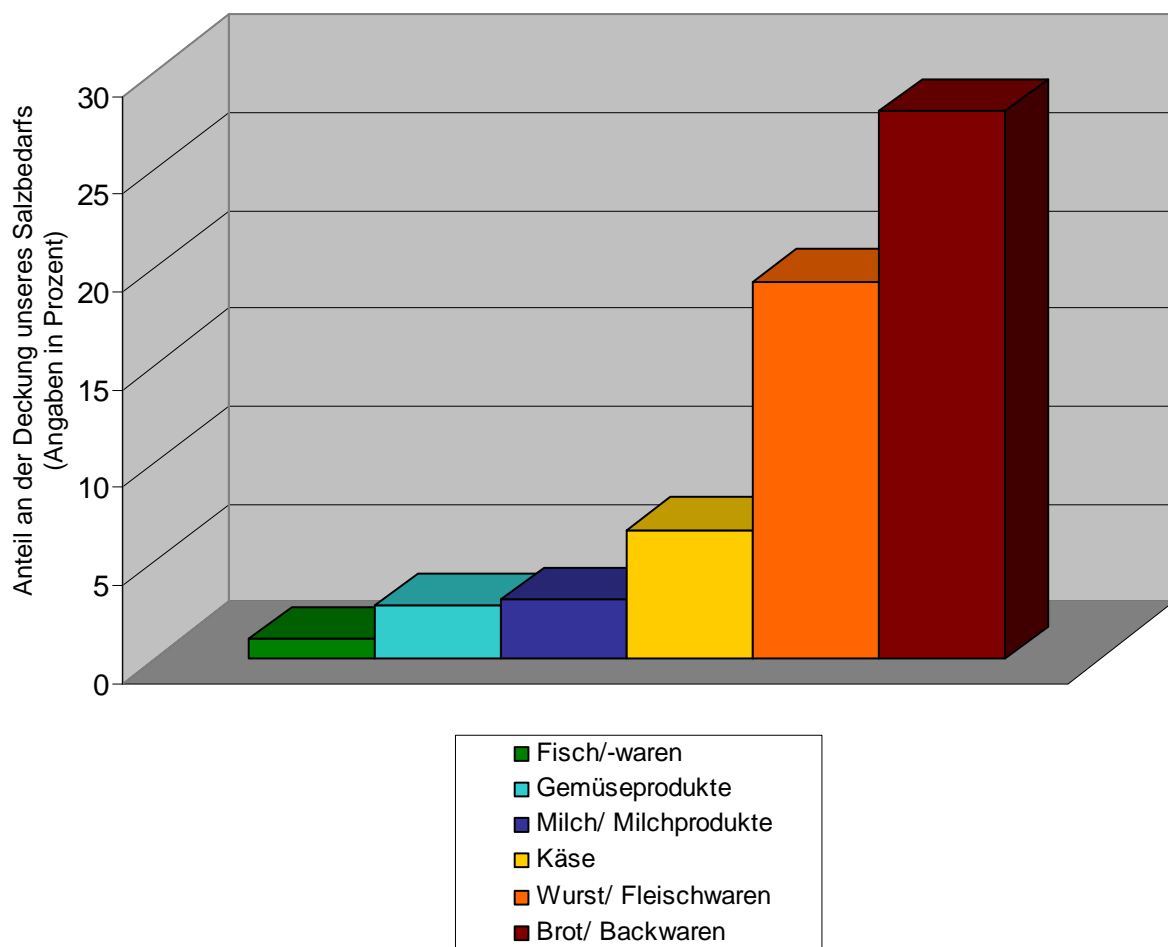
Schaut euch das ausliegende Diagramm genau an.



Löst mit diesem Diagramm die Aufgaben in
eurem Laborbuch.

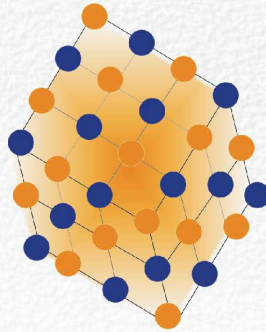
10 - Hunger!

Hier ist der Ausschnitt eines Diagramms, in dem gezeigt wird, mit welchen Lebensmitteln wir unseren Salzbedarf decken*
(Angaben in Prozent).



*Aus einer Studie des *Bundesinstituts für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BGVV)* von 2001 zum Thema Salzgehalt in Lebensmitteln

> Laborbuch <



KOCHSALZ

- salzig und mehr -

Dieses Laborbuch gehört: _____
NAME KLASSE

In meiner Gruppe sind: _____

Heute ist der: _____

Stationenplan

Hier könnt ihr euch die Stationen aussuchen, markieren,
welche ihr schon erledigt habt und aufschreiben, was euch die einzelnen Versuche gezeigt haben.

Station	Titel	Seite	erledigt	Was habt ihr an dieser Station gelernt?
1	Eisfrei	3		
2	Meine Nerven!	5		
3	Salzkalt!	7		
4	Schiffbruch	9		
5	Seenot!	11		

~ Zusatzstationen ~

Station	Titel	Seite	erledigt
6	Speisesalz	12	
7	Jahrmillionen	15	
8	Kochsalz?	17	
9	Salzgeschichte	18	
10	Hunger!	19	





Hallo! Als Maskottchen des Bergwerks habe ich viel zu tun.

Zum Beispiel erinnere ich euch durch meine Form immer daran, dass Kochsalz würfelförmige Kristalle bildet.

Außerdem gehört es zu meinen Aufgaben, euch durch das Arbeitsheft zu begleiten: Ich stelle euch interessante Fragen und gebe wichtige Informationen.

LEST ALSO ALLES GENAU DURCH!!!

~ Hinweise zum Stationenlernen ~

Ihr arbeitet in **3er- oder 4er-Gruppen**. Jede Gruppe hat einen festen Arbeitsplatz.

Wählt nun zunächst für jede Gruppe einen **Gruppenleiter** aus. Dieser ist für das Stationenmaterial **verantwortlich**.

An eurem **Arbeitsplatz** findet ihr:

1 Dose mit Kochsalz, 1 Löffel, 1 Rührstab, 2 Kunststoff-Schälchen

Vorne im Raum stehen zur Benutzung bereit: **Binokular** (Station 1),

Magnetrührer/ Magneten/ Eier (Station 4) & **Computer** (Station 5).

Der **Stationenplan** am Ende des Arbeitsheftes gibt euch eine Übersicht. Sucht euch dort die Stationen zum Bearbeiten aus und schreibt jeweils auf, was ihr gelernt habt.

Sucht euch die **Stationen** in beliebiger Reihenfolge aus. Der **Gruppenleiter** holt dann die **Box mit dem Stationenmaterial** an euren Arbeitsplatz. In dieser **Box** findet ihr Arbeitsanleitungen ("**Leitfaden**"), die euch durch die Aufgaben der Station führen.

Wenn ihr mit einer Station **fertig** seid, dann bringt der **Gruppenleiter** das Stationenmaterial **vollständig und sauber** zurück.

Wenn ihr mit den Versuchen (**Stationen 1 bis 5**) **fertig** seid, dann könnt ihr euch auch mit den Zusatzstationen 6 bis 10 beschäftigen.

Ihr habt genügend Zeit! Arbeitet deshalb konzentriert und ruhig.

1 - Eisfrei

1) Führt den Versuch mit Hilfe des Leitfadens durch.

2) Was habt ihr mit dem Binokular beobachtet? Formuliert es in einem kurzen Satz:

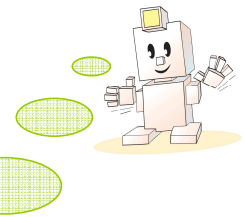
3) Kreuzt richtig an und beantwortet die Frage:

Wenn man also Salz auf Eis streut, dann schmilzt dieses ...

... langsamer

... schneller

als Eis ohne Salz.

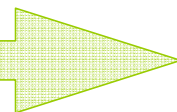


Das Salz zieht die Wasserteilchen aus den Eiskristallen zu sich heran und löst sie damit aus dem Eis. So wird das Eis wieder zu flüssigem Wasser.

Das nutzt man im Straßenverkehr.

Wie nennt man das Salz, das im Winter auf den Straßen verteilt wird?

Weiter geht es auf der nächsten Seite



1 - Eisfrei

Zu viel Streusalz ist allerdings schädlich für die Pflanzen am Straßenrand.

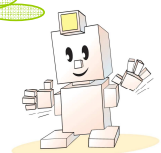
Mögliche Auswirkungen von zu viel Salz seht ihr auf den ausliegenden Fotos.

4) Vergleicht die ausliegenden Fotos und kreuzt in der Tabelle die richtigen Merkmale an (2 pro Spalte):

Mit Leitungswasser gegossene Kresse:	Mit Salzwasser gegossene Kresse:
<input type="checkbox"/> kräftige Stiele	<input type="checkbox"/> kräftige Stiele
<input type="checkbox"/> dünne Stiele	<input type="checkbox"/> dünne Stiele
<input type="checkbox"/> aufrecht	<input type="checkbox"/> aufrecht
<input type="checkbox"/> schwach und umgeknickt	<input type="checkbox"/> schwach und umgeknickt

Das Streusalz schadet also Pflanzen am Straßenrand.

Deshalb wird Streusalz inzwischen so sparsam wie möglich eingesetzt, um die Belastung für die Pflanzen zu reduzieren.



5) Vergesst nicht, den Arbeitsplatz aufzuräumen!

Lest dazu Punkt 2 im Leitfaden.

2 - Meine Nerven!

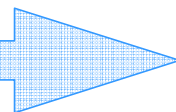
1) Führt den Versuch mit Hilfe des Leitfadens durch.

2) Notiert eure Beobachtungen in der Tabelle:

→ Die ELEKTRODEN dürfen sich NICHT BERÜHREN! ←

	Hat das Lämpchen geleuchtet?	Habt ihr den Signalton der Hupe gehört?
<p style="text-align: center;">Salzdose</p> <p>Inhalt: <i>Festes Kochsalz</i></p>	<p><input type="radio"/> Ja</p> <p><input type="radio"/> Nein</p>	<p><input type="radio"/> Ja</p> <p><input type="radio"/> Nein</p>
<p style="text-align: center;">Becherglas 1</p> <p>Inhalt: <i>Destilliertes Wasser</i></p>	<p><input type="radio"/> Ja</p> <p><input type="radio"/> Nein</p>	<p><input type="radio"/> Ja</p> <p><input type="radio"/> Nein</p>
<p style="text-align: center;">Becherglas 2</p> <p>Inhalt: <i>Salzwasser</i> <i>(Modell für Zellflüssigkeit)</i></p>	<p><input type="radio"/> Ja</p> <p><input type="radio"/> Nein</p>	<p><input type="radio"/> Ja</p> <p><input type="radio"/> Nein</p>

Weiter geht es auf der nächsten Seite



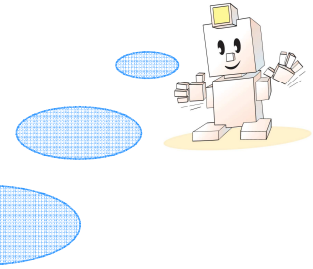
2 - Meine Nerven!

3) Kreuzt richtig an:

Festes Kochsalz leitet Strom leitet keinen Strom.

Wenn Kochsalz in Wasser gelöst ist, dann ...

- leitet dieses sehr gut Strom
 leitet dieses keinen Strom



Mit Strom kann man Signale übertragen.

Dies geschieht auch in unseren Nervenzellen:

Wenn wir einen Reiz spüren, dann haben die Salzteilchen diesen in Form von Strom bis ins Gehirn „transportiert“.

Wenn wir uns z. B. bewegen, dann haben die Salzteilchen den „Befehl“ dazu in Form von Strom zu unseren Muskeln „transportiert“.

4) Verbindet die Tätigkeit jeweils mit dem richtigen Signal:

Hier ist Salz als Überträger von elektrischen Signalen im Spiel.

Welches Signal wird weitergeleitet?

Lisa spielt Fußball.

Geruch!

Max verbrennt sich an einer Herdplatte.

Muskelbewegung!

Ein Hund riecht an einem Keks.

Schmerz!

5) Vergesst nicht, den Arbeitsplatz aufzuräumen!

Lest dazu Punkt 2 im Leitfaden.

3 - Salzkalt!

1) Führt den Versuch mit Hilfe des Leitfadens durch.

2) Tragt hier die Temperaturen ein, die ihr im Versuch gemessen habt - Achtung! Minus-Temperaturen!

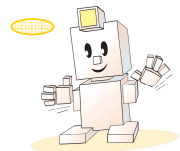
Wie kalt war das Eis zu Beginn? _____

Wie kalt war das Eis, nachdem ihr das Salz zugegeben habt? _____

3) Kreuzt richtig an:

Die Temperatur des Eises verändert sich also, wenn man Salz zugibt:

- Es wird kälter Es wird wärmer



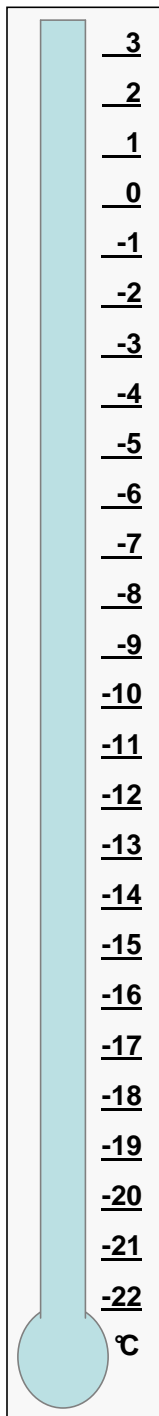
Solche Kältemischungen verwendet man im Labor.
So kann man Stoffe kühlen, ohne sie in einen
Gefrierschrank stellen zu müssen.

Weiter geht es auf der nächsten Seite 

3 - Salzkalt!

4) Markiert an dem Thermometer die beiden Temperaturen, die ihr im Versuch gemessen habt.

Bestimmt dann mit Hilfe der Temperaturskala, um wieviel Grad das Eis kälter geworden ist.



Die Temperatur hat um _____ °C
abgenommen.

5) Vergesst nicht, den Arbeitsplatz aufzuräumen! Lest dazu Punkt 2 im Leitfaden.

4 - Schiffbruch

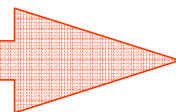
1) Führt den Versuch mit Hilfe des Leitfadens durch.

2) Notiert hier eure Beobachtungen:

Schwimmt das Ei in Süßwasser, wie z.B. in einem Schwimmbecken oder See -
Was passiert, wenn ihr das Ei in das Leitungswasser legt?

Schwimmt das Ei in hochkonzentriertem Salzwasser, wie im Spiegelsee -
Was passiert, wenn ihr das Ei in euren „Salzsee“ legt?

Weiter geht es auf der nächsten Seite



4 - Schiffbruch

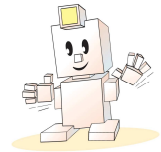
3) Kreuzt an:

Wenn man Salz in Wasser löst, dann können Gegenstände darin

o besser o schlechter schwimmen als vorher.

Das Salz hält die Wasserteilchen fest und zieht sie näher zusammen, so dass das Wasser **dichter** wird:

>> **Salz erhöht die Dichte von Wasser!** <<



4) Was muss in die Lücken?

Bringt die Buchstaben in die richtige Reihenfolge!

Das Wasser im Spiegelsee enthält fast 10 Mal mehr Salz, als z. B. das Mittelmeer, der Atlantik oder die Nordsee.

Das Meerwasser dort ist also viel _____ (d i e r c h t).

Deshalb können im Spiegelsee sogar Menschen

nicht _____ (u g e n t e r h e n).

5) Vergesst nicht, den Arbeitsplatz aufzuräumen! Lest dazu Punkt 4 im Leitfaden.

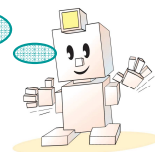
5 - Seenot!

1) Seht euch am Laptop den Film an.
Was geschieht mit der rechten Gurkenscheibe?

2) Seht nun die Präsentation an und setzt danach richtig ein:
Wieso verdurstet ein Schiffbrüchiger, wenn er nur Meerwasser trinkt?

Das _____ des Meerwassers _____ seinen
Zellen das _____. Deshalb _____ die
Zellen. Sie trocknen aus und sind nicht mehr _____.
Der Schiffbrüchige verdurstet.

Ihr könnt den Versuch mit der Gurke auch
mit anderem Obst und Gemüse **zu Hause**
nachmachen: Streut Salz darauf und wartet
etwa eine halbe Stunde!



6 - Speisesalz

1) Auf dem Tisch liegen Bilder von Lebensmitteln aus. Ordnet die abgebildeten Lebensmittel richtig zu:

Niedriger Salzgehalt:

Hoher Salzgehalt:

Deshalb brauchen Pflanzenfresser wie Pferde, Kaninchen oder Meerschweinchen einen Salzleckstein!

2) Löst die folgenden Aufgaben mit Hilfe des ausliegenden Infotextes:

→ Wobei nehmen wir Salz auf? _____

Weiter geht es auf der nächsten Seite

6 - Speisesalz

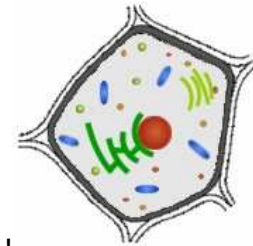
→ Welche drei „Stationen“ durchläuft das Salz in unserem Körper auf dem Weg in die Zellen? Lest im Infotext nach!

1. _____

2. _____

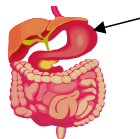
3. _____

→ Wie wichtig ist das Salz für unsere Zellen? Beendet den Satz, indem ihr das letzte Wort vervollständigt. Lest dazu im Infotext nach!

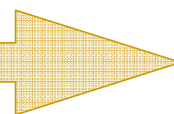


Salz ist L _ _ B _ _ _ S N _ _ _ W _ _ _ _ _ G !

→ Welche Teile unseres Körpers brauchen das Salz außerdem besonders dringend? Ordnet den Bildern die richtigen Begriffe aus dem Infotext zu.



Weiter geht es auf der nächsten Seite



6 - Speisesalz

→ Wir nehmen aber nicht nur Salz auf, sondern wir geben es auch wieder ab.

Dies geschieht über die _____ (Ordnet die Silben richtig an).

per sig Kör flüs ten kei



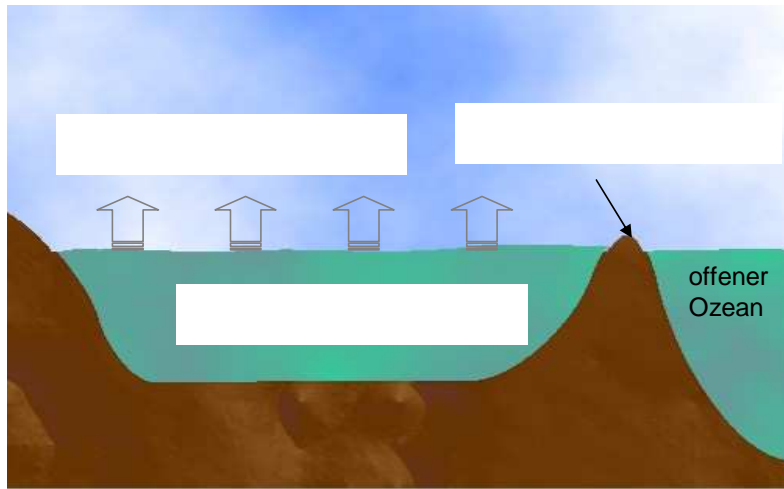
Besonders beim _____ verlieren wir
viel Salz und Wasser über den _____ .

(Findet die fehlenden Worte im Infotext!)

→ Salz ist einzigartig und lebensnotwendig. Was besitzen wir deshalb, um Salz in der Nahrung zu erkennen? Lest im Infotext nach!

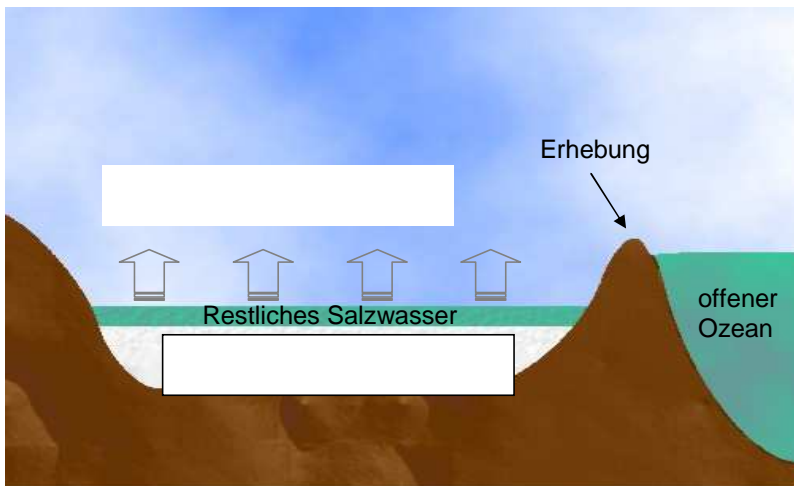


7 - Jahrmillionen!



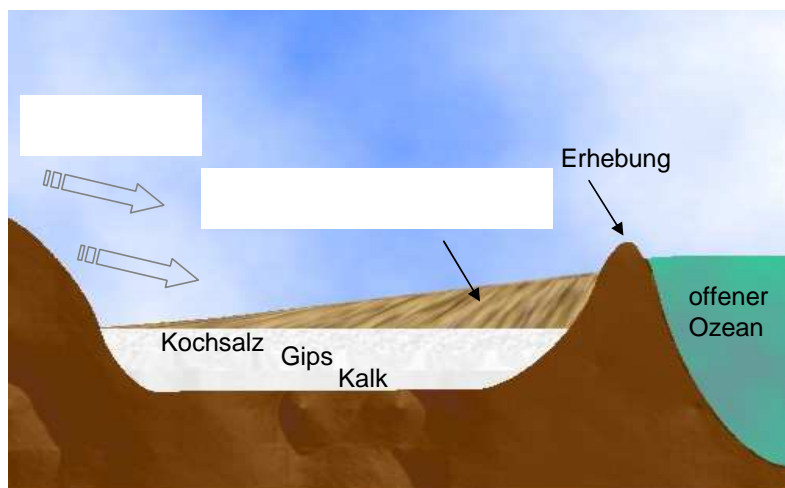
1

Das geschieht auch in jedem Salzsee!



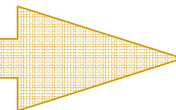
2

So entstehen Salzwüsten!

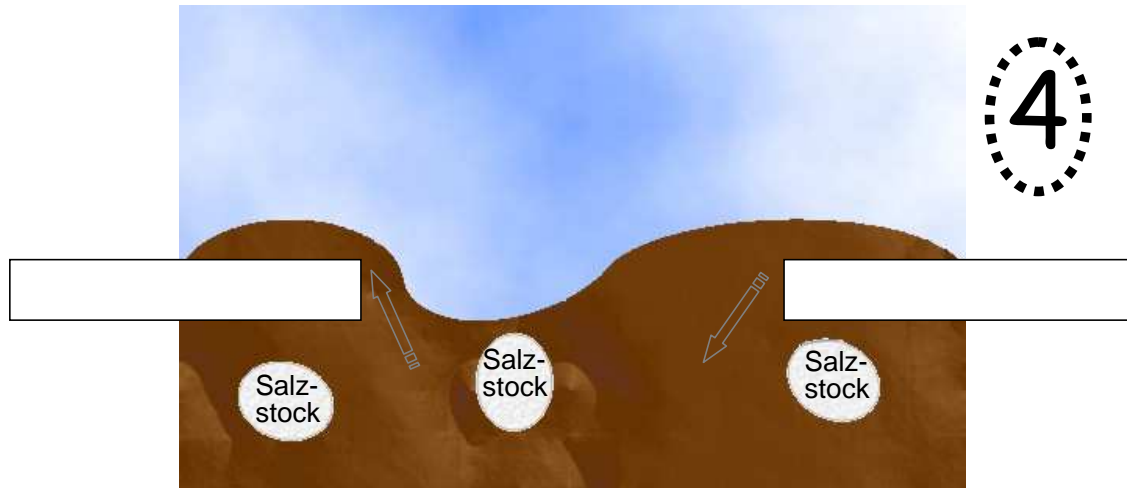


3

Weiter geht es auf der nächsten Seite



7 - Jahrmillionen!

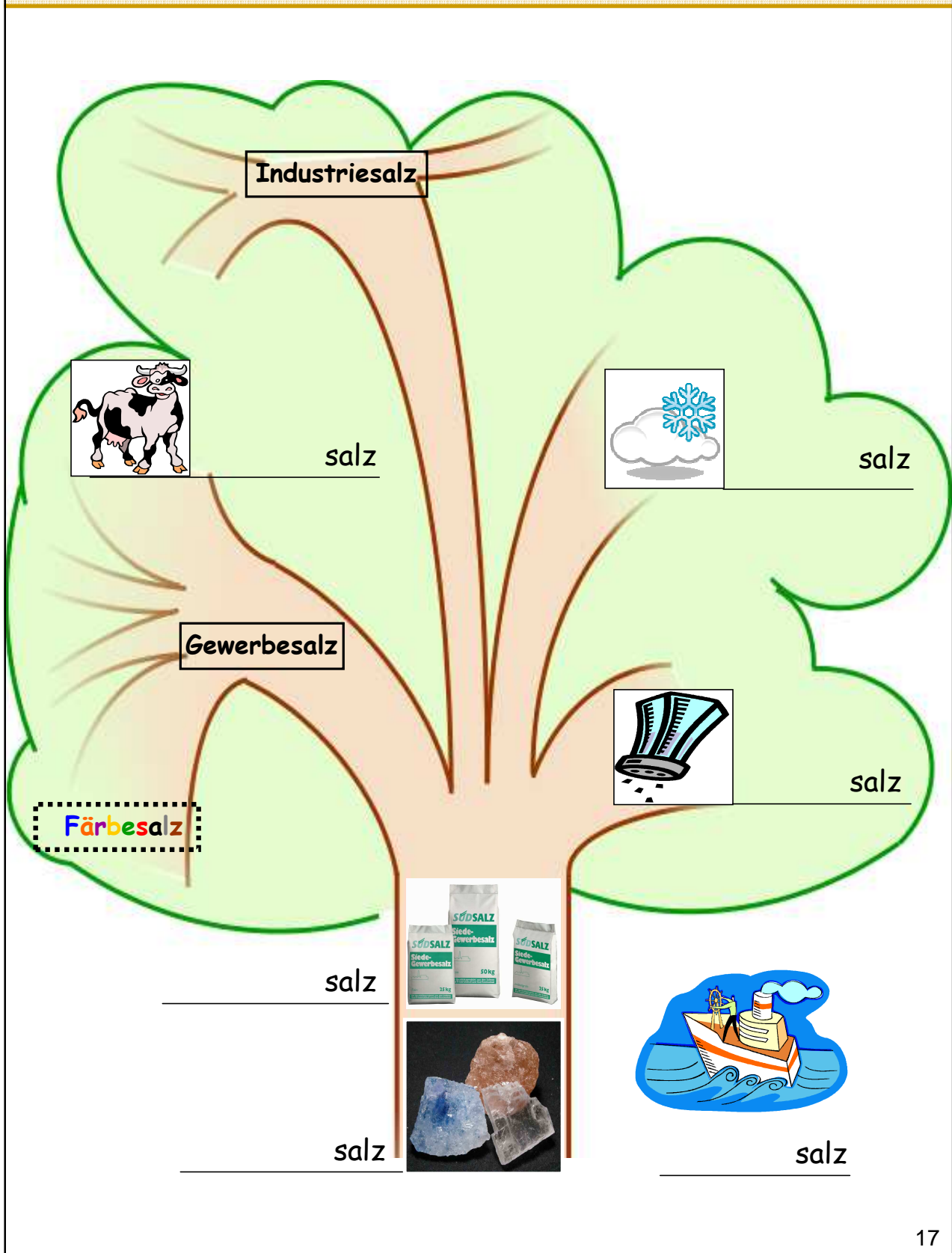


Hier ist Einiges durcheinander geraten. Bringt die Sätze mit Hilfe der Bilder wieder in die richtige Reihenfolge und nummeriert sie von 1 bis 4. Die Buchstaben am Ende der Sätze ergeben dann ein Lösungswort. Ein Beispiel ist schon vorgegeben.

- Über den Salzablagerungen lagern sich im Laufe der Zeit immer mehr **Gestein und Erde** ab. So werden die Salzablagerungen unterirdisch. R
- Irgendwann ist so wenig Wasser da, dass sich **Salzablagerungen** bilden. E
- Meeresbecken** sind durch **Erhebungen** vom offenen Meer getrennt. Durch **Verdunstung** verlieren sie immer mehr Wasser. F
- 4 Über Tausende von Jahren hinweg **verschieben** sich Teile der Erdoberfläche. Dadurch werden die **Salzstöcke** geformt. T

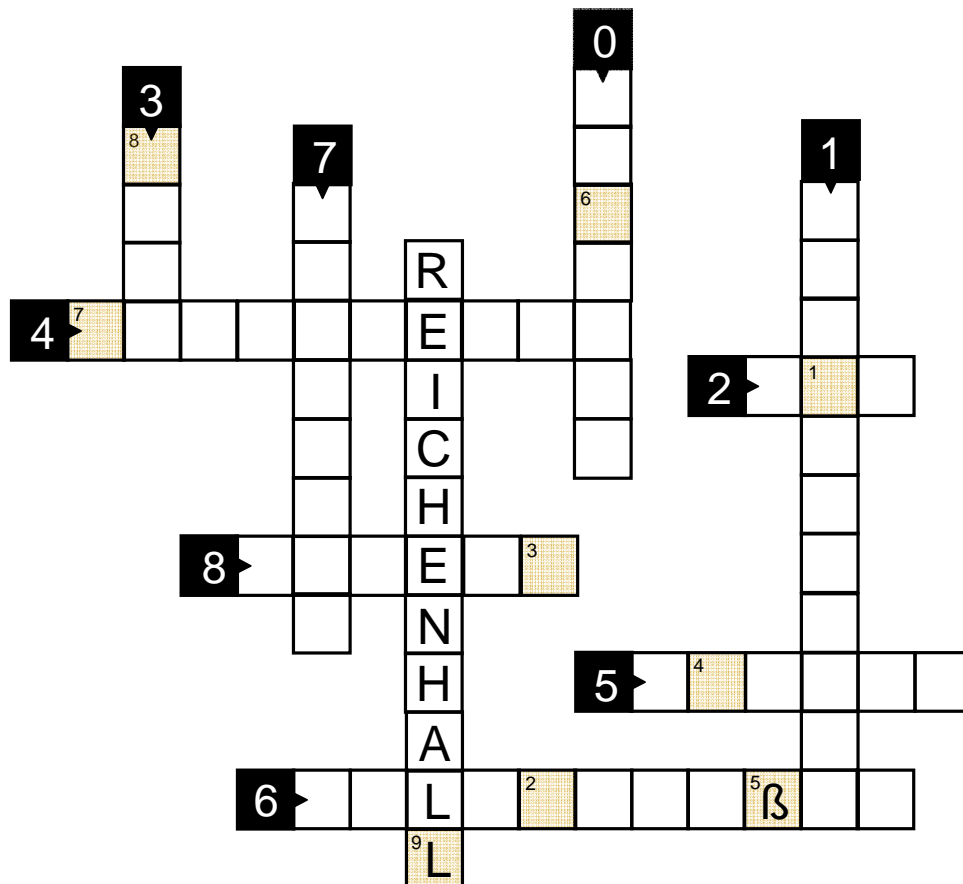
Lösung: $\frac{\quad}{1}$ $\frac{\quad}{2}$ $\frac{\quad}{3}$ $\frac{\quad}{4}$ I G !

8 - Kochsalz?



9 - Salzgeschichte

- 0** Davon ernährten sich die Menschen in früher Urzeit hauptsächlich, ... deckte ihren Salzbedarf.
- 1** Im Gegensatz dazu enthält ... Nahrung nur wenig Salz.
- 2** ... ist die keltische Bezeichnung für Salz.
- 3** Die Namen vieler ... beinhalten dieses Wort.
- 4** Der Begriff „Salat“ ist römischen Ursprungs und bedeutet eigentlich ...
- 5** Im Mittelalter übernahm die ... die Kontrolle des Salzhandels.
- 6** Früher wurde das Salz über ... transportiert, z.B. von Bad Reichenhall nach Augsburg.
- 7** Viele Städte an diesen Handelswegen verdanken ihre Existenz dem Salzhandel, zum Beispiel ... oder München.
- 8** Das Salz war damals so wertvoll, dass sogar ... darum geführt wurden.



D 1 2

W 3 4 5 6

7 8 9 D

(Lösungsworte)

10 - Hunger?

Löst die Aufgaben mit Hilfe des ausliegenden Diagramms:

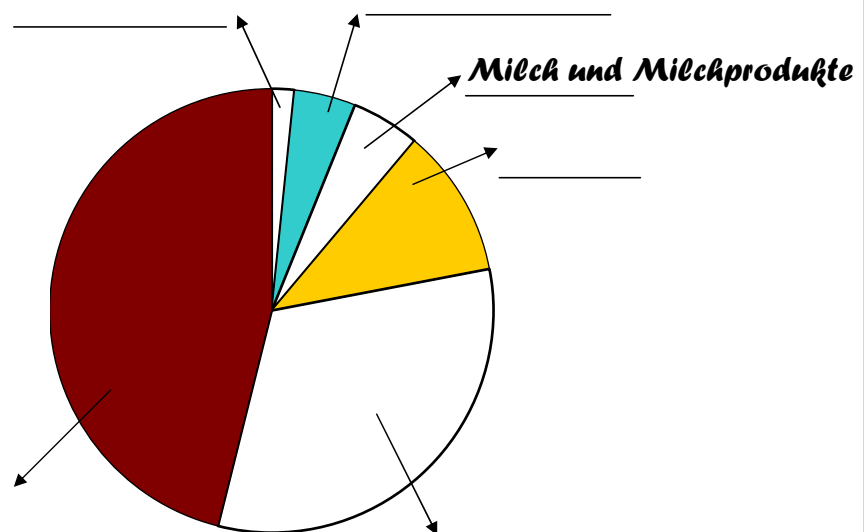
→ Welche drei Lebensmittelgruppen sind für die Salzversorgung am bedeutendsten? Lest die Gruppen aus dem Säulendiagramm ab.

1) _____

2) _____

3) _____

→ Beschriftet das Kreisdiagramm und malt die leeren Flächen mit der richtigen Farbe aus: Welches „Kuchenstück“ gehört zu welcher Lebensmittelgruppe? Ein Beispiel ist schon vorgegeben.



Danksagung

Zuallererst möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr. Bogner für die inspirierende und lehrreiche Zeit an seinem Lehrstuhl danken, und vor Allem dafür, dass er mir die Durchführung der Promotion ermöglicht hat.

Mein besonderer Dank gilt auch der Intertainment GmbH mit Herrn Seigner und Herrn Schürger, die die Arbeit initiiert haben, sowie den Mitarbeitern des Salzbergwerks Berchtesgaden. Insbesondere möchte ich Frau Maria Schwaiger, Herrn Christoph Karbacher und Herrn Florian Bauer für die gute Zusammenarbeit und die freundliche Aufnahme vor Ort danken. Vielen Dank auch an alle Lehrkräfte und Klassen, die an der Studie teilgenommen und so zu deren Gelingen beigetragen haben.

Außerdem danke ich von ganzem Herzen:

Herrn AD Dr. Franz-Josef Scharfenberg und Frau Sabine Hübner, die mir jederzeit gerne mit konstruktiven Diskussionen und hilfreichen Ratschlägen zur Seite gestanden haben.

Meiner ehemaligen Kollegin Sabine Gerstner für die gelungene Starthilfe, die zahlreichen fachlichen Ratschläge und ihre fortdauernde Hilfsbereitschaft.

Meinen Kolleg(inn)en möchte ich für die gute Zusammenarbeit und die schöne Zeit danken, die wir gemeinsam am Lehrstuhl verbracht haben: Trotz aller Turbulenzen blieb immer Zeit zum Lachen, ihr seid ein tolles Team!

Zu guter Letzt geht mein Dank an meinen Ehemann Marco Kocian, der diese wechselhafte Zeit mit mir durchgestanden und mit unerschütterlicher Hartnäckigkeit an mich geglaubt hat.

Danke an Alle, die mich in irgendeiner Form bei meiner Arbeit unterstützt haben!

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ferner erkläre ich, dass ich anderweitig mit oder ohne Erfolg nicht versucht habe, diese Dissertation einzureichen. Ich habe keine gleichartige Doktorprüfung an einer anderen Hochschule endgültig nicht bestanden.

Bayreuth, den 14.10.2010

Barbara Meissner