

## **Einfluss der Vorinformation auf den Wissenserwerb beim Experimentieren im Fernlabor**

- Einfluss der Art gegebener Vorinformation auf die kognitive Belastung  
beim entdeckenden Lernen im Fernlabor -

**Lars-Jochen Thoms, Raimund Girwidz**

Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät für Physik, Lehrstuhl für Didaktik der Physik  
[l.thoms@lmu.de](mailto:l.thoms@lmu.de), [girwidz@physik.uni-muenchen.de](mailto:girwidz@physik.uni-muenchen.de)

### **Kurzfassung**

Während Schülerinnen und Schüler selbstständig Experimente in einem ihnen noch unbekanntem Themengebiet durchführen, sollte die mentale Belastung so gering wie möglich gehalten werden. Dazu wird bei einem Experiment zur optischen Spektrometrie im Fernlabor eine Vorinformation zum Versuchsaufbau und dessen Bedienung angeboten. In der hier vorgestellten Teilstudie wird die Art der Informationsdarbietung variiert. Das Material zur Vorinformation wurde basierend auf drei verschiedenen Theorieströmungen entwickelt: strukturell-attributive, funktional-kybernetische und pragmatische Informationstheorien. Damit in einer späteren Studie der Einfluss der Vorinformation auf den Bearbeitungserfolg und den Wissenserwerb untersucht werden kann, sollte die kognitive Belastung durch die Variation der Vorinformationen nicht beeinflusst werden.

Festgestellt werden konnte, dass die verschiedenen Versionen des eingesetzten Instruktionsmaterials keinen signifikant unterschiedlichen Einfluss auf die wahrgenommene Textschwierigkeit und die mentale Belastung haben. Laut ihrer Selbsteinschätzung lesen Schülerinnen und Schüler die Vorinformation aufmerksam. Es scheint einen Einfluss der Art gegebener Vorinformation auf das aufmerksame Lesen zu geben.

### **1. Einleitung**

Der Physikunterricht wird entscheidend von der Durchführung von Experimenten geprägt (Hofstein & Lunetta, 1982; Tesch & Duit, 2004; Duit & Tesch, 2010). Dies betrifft sowohl Demonstrationsexperimente als auch Schülerexperimente. Obwohl im Unterricht Demonstrationsexperimente überwiegen und Schülerexperimente nur selten durchgeführt werden, ist Schülerinnen und Schülern die besondere Bedeutung des Experiments bewusst (Baumert & Köller, 2000). Demonstrationsexperimente sind meist in quasi-fragend-entwickelnde Unterrichtsgespräche gefasst (Seidel et al., 2002; vgl. Duit & Tesch, 2010), und Schülerexperimente sind durch genaue Instruktionen eingeeignet. Unterrichtsgänge, die sowohl Theorie und Experiment verbinden als auch Schülerinnen und Schüler aktiv beteiligen, sollten ein tiefer gehendes Verständnis fördern (Baumert & Köller, 2000). Die Einbettung des Experimentierens in den Unterricht bestimmt den Lernerfolg (Harlen, 1999; Tesch & Duit, 2004). Für die Leistungsentwicklung der Lernenden ist nicht die reine Experimentierzeit, sondern die gesamte Bearbeitungszeit inklusive Vor- und Nachbereitung entscheidend (Tesch & Duit, 2004). Tesch & Duit (2004) vermuten, dass der große Zeitaufwand, der mit der Durchführung von Schülerexperimenten verbunden ist, zulasten der Vor- und

Nachbereitung im Unterricht geht. Sie sehen darin einen möglichen Grund, warum Schülerexperimente nicht generell zu besseren Lernleistungen führen (Hofstein & Lunetta, 2004).

Eine denkbare Möglichkeit der Entlastung des Physikunterrichts wäre die Durchführung von Schülerexperimenten als Hausaufgabe. Dadurch bliebe mehr Zeit im Unterricht für eine gründliche Vor- und Nachbereitung des Experiments.

Am Lehrstuhl für Didaktik der Physik der LMU wurde ein Experiment zur optischen Spektrometrie entwickelt, das von Schülerinnen und Schülern über das Internet ferngesteuert werden kann. Schülerinnen und Schüler der neunten Jahrgangsstufe können sich an dem Experiment die Einführung in die Atomphysik curricular valide selbst erarbeiten (Thoms & Girwidz, 2015).

Bevor Schülerinnen und Schüler den Versuch durchführen, sollte ihnen der Versuchsaufbau und die Benutzeroberfläche zur Bedienung des Versuches bekannt sein. Es sollte keine zusätzliche mentale Belastung durch eine mangelnde Vertrautheit mit der neuartigen Lernumgebung verursacht werden. Daher erhalten die Schülerinnen und Schüler eine Vorinformation zum Versuchsaufbau und zur Steue-

rung des Versuches. Es ergibt sich dabei die zentrale Fragestellung dieser Untersuchung:

Wann und wie sollen Informationen zum Versuchsaufbau und zur Bedienung der Benutzeroberfläche idealerweise bereitgestellt werden?

Im Folgenden werden aus der Forschung zum Problemlösen und zum entdeckenden Lernen Implikationen für die Gestaltung der hier verwendeten Instruktionmaterialien und der folgenden Untersuchung abgeleitet.

### 1.1. Einfluss domänenspezifischen Vorwissens beim entdeckenden Lernen

Einerseits kann entdeckendes Lernen zu einem tieferen Verständnis führen, andererseits birgt es aber auch besondere Herausforderungen, welche zu Schwierigkeiten bei Lernenden führen können (de Jong & van Joolingen, 1998).

Ein Merkmal entdeckenden Lernens ist, dass domänenspezifisches Wissen selbstständig erschlossen wird. Gerade diese Besonderheit – der Mangel an spezifischem Vorwissen – stellt einen Faktor für die Schwierigkeit des entdeckenden Lernens dar, denn die Befähigung zu entdeckendem Lernen ist wiederum von domänenspezifischem Vorwissen abhängig (Brown & DeLoache, 1978).

Aus der Forschung zum Problemlösen geht hervor, dass Lerner mit geringerem Vorwissen weniger effiziente Problemlösestrategien weniger effektiv anwenden (Alexander & Judy, 1988). Dieses Erkenntnis kann auf entdeckendes Lernen übertragen werden (Lavoie & Good, 1988; Schauble et al., 1991; Hmelo, Nagarajan & Day, 2000). Damit stellt sich die Frage:

Welches domänenspezifische Vorwissen sollte Lernenden in einer computerbasierenden, interaktiven, das entdeckende Lernen fördernden Lernumgebung zur Verfügung gestellt werden?

Wissen über die unabhängigen Variablen eines Experiments allein ist nicht lernförderlich. Erst Wissen über die Beziehungen zwischen den Variablen ermöglicht hypothesengeleitetes und damit erfolgreiches Experimentieren (Lazonder, Wilhelm & van Lieburg, 2009).

Die Präsentation domänenspezifischen Wissens während des entdeckenden Lernens steht nun im Widerspruch zu der eigentlichen Intention - des selbstregulierten Lernens. Es stellt sich die Frage:

Sollte domänenspezifisches Wissen vor oder während einer Einheit entdeckenden Lernens angeboten werden?

Die Präsentation domänenspezifischen Wissens vor dem selbstentdeckenden Lernen ist lernförderlich (Leutner, 1993). Noch wirksamer ist ein Informationsangebot während der Lerneinheit. Hulshof & de Jong (2006) boten einer Gruppe Lernender domänenspezifisches Wissen und experimentelle Hilfen an. Diese Gruppe erreichte einen höheren Lernerfolg

als die Kontrollgruppe ohne Hilfestellungen. Besonders deutlich wurde dies bei Lernenden mit geringem Vorwissen. Dies legt eine höhere Wirksamkeit der Präsentation von Wissensinformationen während des Lernens nahe.

In einer Voruntersuchung wurde die Vorinformation zum Versuchsaufbau und zur Bedienung des Versuches parallel zum Instruktionmaterial ausgegeben. Die Beobachtung der Schülerinnen und Schüler während der Versuchsdurchführung legt nahe, dass nicht alle Schülerinnen und Schüler die Vorinformation aufmerksam durchgelesen haben. Diese Beobachtung wurde in der Befragung der Probanden auch bestätigt. Daher wurde entschieden, dass in der Hauptuntersuchung zunächst die Vorinformation ausgegeben wird und die Lernenden instruiert werden, die Vorinformation aufmerksam zu lesen. Anschließend wird die kognitive Belastung gemessen und die Probanden befragt, ob sie die Vorinformation aufmerksam gelesen haben (siehe Abschnitt 2.4).

Somit ist festgelegt, *wann* die Vorinformation gegeben werden soll. Es bleibt aber die Frage, *welche* Information genau vermittelt werden soll. Genauer: *Welche Art* von Information soll gegeben werden?

In der schulalltäglichen Beschreibung von Versuchen findet sich zumeist folgende Darstellung: Zeichnungen oder Fotografien von Versuchsaufbauten werden stichpunktartig beschriftet. Auch die Versuchsdurchführung wird in Stichpunkten dargestellt.

Um diese Art der Information von anderen zu unterscheiden, werden im Folgenden zunächst drei Theorieströmungen vorgestellt: strukturell-attributive Informationstheorien, funktional-kybernetische Informationstheorien und pragmatische Informationstheorien.

Basierend auf diesen Informationstheorien wird in der anschließenden Untersuchung das Instruktionmaterial variiert. Somit bestimmen die drei informationstheoretischen Strömungen die drei Faktorstufen der unabhängigen Variablen.

### 1.2. Wissensvermittlung aus informationstheoretischer Sicht

Der Begriff der Information wird in verschiedenen Disziplinen unterschiedlich gebraucht. So beklagt Kornwachs (1996):

*“The search for a unified concept of information is a hopeless endeavor; information is a multidisciplinary concept, i.e. every scientific discipline has its own concept of information.”*

Flückiger (1995) entwickelt ein interdisziplinäres vereinheitlichendes Konzept der Information. Dieses soll alle vorherigen Theorien zur Information beinhalten und berücksichtigt unter anderem Ansätze aus den Bereichen der Physik, Kybernetik und Informationswissenschaften. Dabei benennt und unterscheidet Flückiger (1995, 1997) zwei Theorieströ-

mungen, die zunächst unvereinbar erscheinen: strukturell-attributive und funktionell-kybernetische Informationstheorien.

### 1.2.1. Strukturell-attributive Theorien der Information

Vertreter strukturell-attributiver Informationstheorien fassen Information als Struktur, Vielfalt, Ordnung auf (Flückiger, 1995). Diese Theorien haben ihren Ursprung in Gedankenexperimenten von Szilard (1929), Wiener (1948) und Brillouin (1956) und fanden ihre heutige Form bei MacKay (1969). Weitere bedeutende Vertreter sind Nauta (1973), Stonier und Devlin. Durch die enge Verknüpfung zur Semiotik fanden strukturell-attributive Informationstheorien vor allem in den Geisteswissenschaften Anwendung. In der Informatik zeigt sich deren Bedeutung in der Datenmodellierung und der objektorientierten Programmierung – insbesondere im Konzept der Vererbung.

Strukturell-attributive Information beschreibt als Information 1. Art die strukturellen Charakteristika eines Systems und ist damit ein Maß für den durch die materielle Struktur bestimmten Informationsgehalt des Systems. Sie repräsentiert den syntaktischen Aspekt der Information und lässt die Bedeutung der Information für den Rezipienten außer acht.

### 1.2.2. Funktional-kybernetische Theorien der Information

Funktional-kybernetische Theorien basieren auf Shannons statistischer Informationstheorie und verstehen Information als Funktionalität, funktionale Bedeutung oder als Eigenschaft organisierter oder selbstorganisierender Systeme. Bedeutende Vertreter sind Peters, Dretske und Ebeling (Flückiger, 1997). Funktional-kybernetische Informationstheorien finden z. B. bei der Konstruktion von Computern und der Beschreibung von neuronalen Netzen Anwendung. Durch Parallelen zur Neurobiologie haben sie eine explizite Bedeutung für die Neurodidaktik. Die schulische Relevanz funktional-kybernetischer Informationstheorien spiegelt sich implizit in vielen didaktischen Ansätzen wieder, wie z. B. dem Konstruktivismus oder dem Konzept der mentalen Modelle.

Funktional-kybernetische Information hat als Information 2. Art die Aufgabe, die Information 1. Art – die strukturell-attributive Information – zu aktivieren, zu interpretieren und zu deuten. Funktional-kybernetische Information ist kontextabhängig – sie existiert nur im Hinblick auf einen Rezipienten, der bei der Interpretation der strukturell-attributiven Information immer auf die mit der funktional-kybernetischen Information gegebenen Referenzzustände zurückgreifen muss.

Als Beispiel führt Weizsäcker (1971) ein DNS-Molekül an. Auf molekularer Ebene wird der Informationsgehalt durch die Anzahl und Kombination der im DNS-Molekül enthaltenen Atome bestimmt. Aus biologischer Sicht ist nur so viel Information

enthalten, wie bei der Proteinbiosynthese umgesetzt wird. Weizsäcker (1971, S. 351) schreibt:

„Information ist nur, was verstanden wird.“

Funktional-kybernetische Information beschreibt die operationale Geschlossenheit eines Systems. Sie repräsentiert den semantischen Aspekt der Information. Durch die funktional-kybernetische Information wird der Übergang von strukturell-attributiver zu pragmatischer Information ermöglicht.

### 1.2.3. Theorie der pragmatischen Information

In der funktional-kybernetischen Beschreibung der Information bezieht Weizsäcker (1971) das Vorwissen des Empfängers *implizit* mit ein. Weizsäcker & Weizsäcker (1972) entwickeln diesen Gedanken weiter und beziehen das beim Rezipienten vorhandene Vorwissen *explizit* in die Informationsverarbeitung mit ein: Erste Ansätze eines Konzepts pragmatischer Information unterscheiden zwischen „Erstmaligkeit“ oder „Neuheit“ und „Bestätigung“. Die pragmatische Information wird einerseits immer dann minimal, wenn die Information bereits vollständig bekannt, also redundant ist. Andererseits wird die pragmatische Information auch dann minimal, wenn die Information vollständig neu ist und damit nicht in ein bestehendes Wissensnetz integriert werden kann.

Der Anteil an pragmatischer Information ist also vom Rezipienten und insbesondere von dessen Vorwissen abhängig. Information muss also einerseits einen Neuigkeitswert besitzen, aber auch anschlussfähig an bereits vorhandene Information sein.

Es ergibt sich eine explizite Relevanz der pragmatischen Information für die Gestaltung und Untersuchung schulischer Lehr-Lern-Prozesse.

Aus evolutionärer Sicht ist ein Maximum an pragmatischer Information sinnvoll. Pragmatische Information beeinflusst unmittelbar die evolutionäre Anpassung eines Lebewesens (Ebeling, Freund & Schweitzer, 1998) und wird mittelbar im Verhalten oder einer Verhaltensänderung des Lebewesens sichtbar.

Pragmatische Information entsteht als Transformation der strukturell-attributiven Information mithilfe der funktional-kybernetischen Information. Sie hat einen unmittelbaren Bezug zum Rezipienten und ist intentional gebunden.

Weizsäcker (2014) bezeichnet die bisher als *pragmatisch* bezeichnete Information später als *ansteckende Information* (contagious information). Somit grenzt sich der Begriff auch deutlich von der vielfach rezipierten von Morris (1938) aufgestellten Unterteilung ab:

- *Syntax* als Beziehung zwischen den Zeichen,
- *Semantik* für die Bedeutung der Zeichen und
- *Pragmatik* für die bewirkten Handlungen.

Im Folgenden soll pragmatische Information jedoch im Sinne von Morris (1938) verstanden werden.

Direkte Ansprachen und implizite Handlungsanweisungen erhöhen den Anteil der pragmatischen Information, der sich im Verhalten manifestiert. Sie drängen die strukturell-attributive und funktional-kybernetische Information in den Hintergrund.

#### 1.2.4. Komplementarität der vorgestellten Informationstheorien

Jede Art zwischen Lebewesen übermittelter Information trägt strukturell-attributive, funktional-kybernetische und pragmatische Information in unterschiedlichem Maße in sich. Je nach Zweck einer Beschreibung kann ein bestimmter Informationsaspekt in den Vordergrund treten.

#### 1.3. Textschwierigkeit

Die Menge und die Art dargebotener Information haben einen unvermeidbaren Einfluss auf das informationstragende Medium. Beispielsweise wird die Textschwierigkeit eines Textes entscheidend von der darin enthaltenen Information geprägt: strukturell-attributive Information lässt sich gut separieren und stichpunktartig organisieren, während funktional-kybernetische Information definitionsgemäß immer gegebene Struktureinheiten funktional miteinander verbindet. Daher muss für die folgende Untersuchung die Textschwierigkeit kontrolliert werden.

Die Analyse der Textschwierigkeit kann auf Oberflächenmerkmale beschränkt sein oder die Tiefenstruktur eines Textes beurteilen. Die Bewertung anhand von Oberflächenmerkmalen lässt sich gut operationalisieren und objektivieren. Verschiedene Verfahren beachten dabei z. B. die Anzahl der Buchstaben oder Silben je Wort oder Satz (z. B. Bamberger & Rabin, 1984) oder zählen die Wort- und Satzlängen (z. B. Flesch, 1948) und bilden verschiedene Quotienten als Vergleichsmaß. Die durch die Tiefenstruktur eines Textes verursachte Schwierigkeit lässt sich dagegen nur schwer operationalisieren. Dennoch gibt es umfangreiche Expertenratings anhand operationalisierter Kriterienkataloge die eine gute Schätzung ermöglichen (z. B. Langer, Schulz von Thun & Tausch, 2011).

Da in dieser Untersuchung die subjektiv wahrgenommene Textschwierigkeit von besonderem Interesse ist, soll diese mit einer Self-Rating-Skala erfasst werden.

#### 1.4. Kognitive Belastung

Die *kognitive Belastung* wird maßgeblich durch die Aufgabe, das Subjekt und den Interaktionseffekt  $\text{Aufgabe} \times \text{Subjekt}$  bestimmt.

Definitionsgemäß beschreibt die *mentale Belastung* den Beitrag zur kognitiven Belastung, der durch die Aufgabe und die Umgebungsbedingungen hervorgerufen wird und ist damit vom Subjekt unabhängig. Im Gegensatz dazu werden die *mentale Anstrengung* und die *Performanz* von allen drei Kausalfaktoren bestimmt – der Aufgabe, dem Subjekt sowie dem Interaktionseffekt  $\text{Aufgabe} \times \text{Subjekt}$  (Paas, Van Merriënboer & Adam, 1994).

In der folgenden Untersuchung wird die durch den Text der Vorinformation verursachte mentale Belastung bestimmt. Ebenso wird die mentale Anstrengung bei der Textverarbeitung gemessen (siehe Abschnitt 2.3).

In dieser Teilstudie wird eine Skala zur Messung der wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit für die Messung der wahrgenommenen Textschwierigkeit adaptiert (siehe Abschnitt 2.3.2). Die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit stellt ein gutes Maß für die kognitive Belastung dar (Ayres, 2006; Paas, Van Merriënboer & Adam, 1994; Van Gog & Paas, 2008). Obwohl die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit häufig als Maß für die mentale Anstrengung gesehen wird, muss beachtet werden, dass es sich bei der wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit und der mentalen Anstrengung um zwei hoch korrelierte aber von einander verschiedene Konstrukte handelt (Van Gog und Paas, 2008).

Zur Prüfung der Modellpassung werden folgende Hypothesen postuliert:

H.1 Die wahrgenommene Textschwierigkeit korreliert positiv mit der mentalen Anstrengung.

H.2 Die Probanden unterscheiden zwischen der wahrgenommenen Textschwierigkeit und der mentalen Anstrengung.

Zusätzlich wird die wahrgenommene Textverarbeitungstiefe (aufmerksames Lesen) erhoben (siehe Abschnitt 2.4).

## 2. Methoden

Um Schülerinnen und Schülern entdeckendes Lernen an einem Versuch zur optischen Spektrometrie im Fernlabor zu ermöglichen, werden Vorinformationen zum Versuchsaufbau und zur Versuchsbedienug angeboten.

### 2.1. Stichprobe

An der hier vorgestellten experimentellen Laborstudie nahmen  $N = 94$  Schülerinnen (44 %) und Schüler (56 %) aus vier Klassen der neunten Jahrgangsstufe an drei verschiedenen bayerischen Gymnasien teil. Um den Einfluss domänenspezifischen Vorwissens zu minimieren, wurde der Untersuchungszeitpunkt so gewählt, dass die Lerninhalte in allen Klassen noch nicht bekannt waren.

### 2.2. Variation des Instruktionmaterials

In Anlehnung an die vorgestellten Theorieströmungen wurden drei verschiedene Beschreibungen des Versuchsaufbaus und der Bedienung des Versuches verfasst. Aufgrund des gewählten Untersuchungsdesigns werden die verschiedenen Materialien hier als Vorinformationen bezeichnet. Das soll nicht heißen, dass die Variation der Informationsdarbietung nicht auch auf andere Instruktionmaterialien übertragen werden könnte. Im Folgenden wird die Umsetzung vorgestellt und jeweils anhand eines Textbeispiels verdeutlicht. Zu beachten ist, dass die Vorinforma-

tion für die neunte Jahrgangsstufe elementarisiert und zum Teil stark vereinfacht ist. Die fachliche Klärung erfolgt im weiteren Unterrichtsgang.

### 2.2.1. Strukturell-attributive Vorinformation

Basierend auf strukturell-attributiven Aspekten der Information erhalten die Schülerinnen und Schüler hier eine Vorinformation zu den Einzelteilen des Versuchsaufbaus:

*Links im Bild befindet sich das Lampenkarussell. Die aktive Lampe zeigt nach rechts. Weiter rechts daneben ist der Sondenkopf. An diesen ist der blaue Lichtleiter angeschlossen. Das andere Ende des Lichtleiters ist unterhalb der Abdeckung mit dem Spektrometer verbunden. Die roten und weißen Markierungen auf der x-Achse (unten im Bild) und der y-Achse (senkrecht dazu) sind jeweils 10 cm lang.*

Aus Schülerperspektive dient diese strukturell-attributive Information der Orientierung.

### 2.2.2. Funktional-kybernetische Vorinformation

In Anlehnung an funktional-kybernetische Informationstheorien erhalten die Schülerinnen und Schüler hier eine Vorinformation darüber, wie die Einzelteile des Versuchsaufbaus untereinander interagieren:

*Auf dem Lampenkarussell sind sechs Lampen angebracht. Es dreht sich so, dass die aktive Lampe immer nach rechts zeigt. Von der Lampe ausgesandtes Licht wird vom Sondenkopf aufgenommen und in den blauen Lichtleiter eingekoppelt. Der Lichtleiter leitet das Licht in das Spektrometer. Dieses ist unter der Abdeckung verborgen. Die roten und weißen Markierungen zeigen die x-Achse und die y-Achse an und sind jeweils 10 cm lang.*

Die funktional-kybernetische Vorinformation ermöglicht es Schülerinnen und Schülern, Teile des Versuchsaufbaus miteinander zu verknüpfen.

### 2.2.3. Pragmatische Vorinformation

Schülerinnen und Schüler erhalten hier eine Vorinformation darüber, welche Handlungen sie mit dem Versuch vollziehen können und welche Bedeutung einzelne Teile des Versuchsaufbaus haben:

*Das Lampenkarussell stellt dir sechs verschiedene Lampen zur Verfügung. Wenn du eine Lampe auswählst, wird diese eingeschaltet und das Karussell dreht sich, bis die aktive Lampe nach rechts zeigt. Rechts daneben siehst du den Sondenkopf an dessen Position das Licht aufgenommen wird. Das vom Sondenkopf aufgenommene Licht wird in den blauen Lichtleiter eingekoppelt, der das Licht zu dem Spektrometer leitet. Das Spektrometer ist unter der Abdeckung verborgen. Anhand der roten und weißen Markierungen kannst du dir eine x-Achse (unten im Bild) und eine y-Achse (senkrecht dazu) denken. Mit den Markierungen, die immer 10 cm lang sind, kannst du die Position der Sonde überprüfen.*

Pragmatische Vorinformationen sollen Schülerinnen und Schüler zum sachgerechten Handeln anleiten.

### 2.2.4. Textschwierigkeit des Instruktionsmaterials und durch das Instruktionsmaterial hervorgerufene mentale Belastung

Eine besondere Herausforderung bei der Gestaltung des Instruktionsmaterials ist, dass sich die Textschwierigkeit der Instruktionsmaterialien der drei Vorinformations-Varianten möglichst wenig unterscheiden sollte. Da aber naturgemäß die Anzahl der zu beschreibenden Entitäten von der rein strukturell-attributiven Beschreibung der einzelnen Dinge über die funktional-kybernetische Beschreibung der Zusammenhänge zunimmt, lässt sich eine Zunahme der nötigen Textmenge und damit der objektiven Textschwierigkeit nicht vermeiden. Es wäre nun aber auch nicht ratsam, die Textmenge der strukturell-attributiven Beschreibung künstlich zu erhöhen und damit die externe Validität der Untersuchung zu gefährden. An Stelle der objektiven Textschwierigkeit soll die subjektiv wahrgenommene Textschwierigkeit vergleichbar gehalten werden.

### 2.3. Messung der kognitiven Belastung

Die kognitive Belastung wird unmittelbar nach dem Durchlesen der Vorinformation mit einem Kurzfragebogen erfasst. Diese zeitnahe Messung erlaubt eine gute Abschätzung der durch die Aufgabenbearbeitung verursachten kognitiven Belastung (Paas, 1992; Paas & Van Merriënboer, 1993).

#### 2.3.1. Validität und Reliabilität der Messung kognitiver Belastung mit Single-Item-Self-Rating-Skalen

Der Fragebogen beinhaltet vier Items mit siebenstufigen symmetrischen subjektiven Ratingskalen. Obwohl die Messung der kognitiven Belastung mit Single-Item-Self-Rating-Skalen auch kritisiert wird (Brünken, Plass & Leutner, 2003), stellen subjektive Ratingskalen ein valides und reliables Testinstrument dar, um die durch die Variation des Aufgabenmaterials bestimmte kognitive Belastung bei Schülerinnen und Schülern zu messen (Gopher & Braune, 1984; Paas & Van Merriënboer, 1993; Paas, Van Merriënboer & Adam, 1994; Ayres, 2006; Van Gog & Paas, 2008).

Um den Fragebogen in sich geschlossen zu halten, wurden ursprünglich neunstufige Skalen auf sieben Stufen transformiert.

#### 2.3.2. Messung der wahrgenommenen Textschwierigkeit

Die neunstufige Self-Rating-Skala zur Messung der wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit von Bratfish, Borg und Dornič (1972) wurde für die Messung der wahrgenommenen Textschwierigkeit als siebenstufige Skala adaptiert:

*Den Text empfand ich als...*

*1 - sehr einfach bis*

*7 - sehr schwierig.*

### 2.3.3. Messung der wahrgenommenen mentalen Anstrengung

Paas (1992) hat die Skala zur Messung der wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit von Bratfisch, Borg und Dornič (1972) für die Messung der wahrgenommenen mentalen Anstrengung adaptiert. Marcus, Cooper & Sweller (1996) haben die Skala von Paas (1992) auf sieben Stufen gekürzt. Diese Skala wurde für den deutschen Sprachgebrauch angepasst:

*Um den Text zu verstehen, musste ich mich...*

*1 - sehr wenig anstrengen bis*

*7 - sehr stark anstrengen.*

### 2.3.4. Durch Text verursachte mentale Belastung

Zur Messung der durch die subjektiv wahrgenommene Textschwierigkeit verursachten mentalen Belastung wurde in Anlehnung an die Skala zur wahrgenommenen Textschwierigkeit folgende Skala gebildet:

*Der Text war...*

*1 - sehr leicht zu verstehen bis*

*7 - sehr schwer zu verstehen.*

### 2.4. Aufmerksames Lesen

Zur Bestimmung des aufmerksamen Lesens wurde folgende Skala gebildet:

*Ich habe den Text...*

*1 - nur überflogen bis*

*7 - aufmerksam gelesen.*

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Korrelationen der wahrgenommenen Textschwierigkeit mit der mentalen Anstrengung

Die wahrgenommene Textschwierigkeit korreliert positiv mit der mentalen Anstrengung [ $r=,586$ ;  $n=49$ ;  $p=,000$ ].

Die Hypothese H.1 wird damit bestätigt: Die wahrgenommene Textschwierigkeit korreliert positiv mit der mentalen Anstrengung.

### 3.2. Unterscheidung zwischen wahrgenommener Textschwierigkeit und mentaler Anstrengung

Um die Hypothese zu testen, dass Schülerinnen und Schüler zwischen dem Konstrukt *wahrgenommene Textschwierigkeit* und dem Konstrukt *mentale Anstrengung* unterscheiden, wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt mit den Faktoren *Proband* (Faktorstufen: Fallnummern) und *Item* (Faktorstufen: wahrgenommene Textschwierigkeit und mentale Anstrengung).

Es gibt einen signifikanten Effekt des Faktors *Item* auf den Messwert des jeweiligen Items auf dem 5%-Niveau [ $F(1; 93)=4,1701$ ;  $MSE=,568$ ;  $p=,008$ ].

Die Hypothese H.2 wird damit bestätigt: Die Probanden unterscheiden signifikant zwischen der wahrgenommenen Textschwierigkeit und der mentalen Anstrengung.

### 3.3. Einfluss der Art der Vorinformation auf die wahrgenommene Textschwierigkeit

Eine einfaktorielle Varianzanalyse wurde durchgeführt, um den Effekt der Vorinformation auf die wahrgenommene Textschwierigkeit unter strukturell-attributiver, funktional-kybernetischer und pragmatischer Bedingung zu vergleichen. Es gab für diese drei Versionen auf dem 5%-Niveau keine signifikanten Unterschiede in den wahrgenommenen Textschwierigkeiten [ $F(2; 91)=,268$ ;  $MSE=1,281$ ;  $p=,765$ ].

### 3.4. Einfluss der Vorinformation auf die mentale Belastung

Eine einfaktorielle Varianzanalyse wurde durchgeführt, um den Effekt der Vorinformation auf die mentale Belastung unter strukturell-attributiver, funktional-kybernetischer und pragmatischer Bedingung zu vergleichen. Es gab für diese drei Bedingungen auf dem 5%-Niveau keinen signifikanten Effekt der Vorinformation auf die mentale Belastung [ $F(2; 91)=1,485$ ,  $MSE=1,441$ ,  $p=,232$ ].

### 3.5. Einfluss der Vorinformation auf die mentale Anstrengung

Eine einfaktorielle Varianzanalyse wurde durchgeführt, um den Effekt der Vorinformation auf die mentale Anstrengung unter strukturell-attributiver, funktional-kybernetischer und pragmatischer Bedingung zu vergleichen. Es gab für diese drei Bedingungen auf dem 5%-Niveau keinen signifikanten Effekt der Vorinformation auf die mentale Anstrengung [ $F(2; 91)=1,892$ ,  $MSE=1,445$ ,  $p=,157$ ].

### 3.6. Einfluss der Vorinformation auf das aufmerksame Lesen

Das aufmerksame Lesen ist in der untersuchten Stichprobe nach Selbsteinschätzung der Probanden recht hoch ( $n=94$ ;  $M=5,84$ ;  $SD=1,019$ ).

Weiterhin fielen Unterschiede hinsichtlich des aufmerksamen Lesens zwischen den Interventionsgruppen auf, die im Folgenden explorativ untersucht werden.

<i>Vorinformation</i>	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
strukturell-attributiv	32	6,250	0,762
funktional-kybernetisch	31	5,840	0,779
pragmatisch	31	5,419	1,285

**Tab.1:** Mittelwerte und Standardabweichungen des aufmerksamen Lesens in Abhängigkeit von der Art der Vorinformation.

Der Levene-Test ergab, dass die Annahme der Varianzhomogenität für das aufmerksame Lesen verletzt ist ( $p=,002$ ), so dass ein Brown-Forsythe-Test durchgeführt wurde, um den Effekt der Vorinformation auf das aufmerksame Lesen unter strukturell-attributiver, funktional-kybernetischer und pragmatischer Bedingung zu vergleichen. Es gab für diese drei Bedingungen einen signifikanten Effekt auf dem 5%-Niveau der Vorinformation auf das aufmerksame Lesen. [Brown-Forsythe's

$F(2; 70,401)=5,729$ ;  $MSE=,942$ ;  $p=,005$ ; geschätztes  $\omega^2=,81$ ]. Geschätzt 81% der Varianz des aufmerksamen Lesens scheinen durch die Vorinformation geklärt zu werden.

Da die Annahme der Varianzhomogenität für das aufmerksame Lesen verletzt ist, wurden Post-hoc-Vergleiche mit dem Games-Howell-Test durchgeführt. Es zeigt sich, dass sich der Mittelwert für die pragmatische Bedingung ( $M=5,419$ ;  $SD=1,285$ ) hoch signifikant ( $p=,009$ ) geringer als der Mittelwert der strukturell-attributiven Bedingung ( $M=6,250$ ;  $SD=0,762$ ) ist. Der Mittelwert für die pragmatische Bedingung ist ebenfalls hoch signifikant ( $p=,009$ ) niedriger als der Mittelwert für die funktional-kybernetische Bedingung ( $M=5,84$ ;  $SD=0,779$ ). Die Effektgrößen dieser zwei signifikanten Effekte sind  $d=0,786$  bzw.  $d=0,395$ .

#### 4. Diskussion

Obwohl die Skalen zur mentalen Anstrengung und zur wahrgenommenen Textschwierigkeit positiv mit einander korrelieren, unterscheiden die Probanden deutlich zwischen beiden Konstrukten. Dieser Befund spricht für die Validität der Testinstrumente und für die Passung des Modells der kognitiven Belastung im Rahmen dieser Untersuchung.

In dieser Untersuchung konnte kein signifikanter Effekt der Art der Vorinformation auf die wahrgenommene Textschwierigkeit, die mentale Anstrengung, sowie die durch den Text hervorgerufene mentale Belastung nachgewiesen werden. Das Instruktionsmaterial konnte also erfolgreich so gestaltet werden, dass die wahrgenommene Textschwierigkeit über die Variation des Instruktionsmaterials hin konstant gehalten wurde.

Insgesamt geben die Schülerinnen und Schüler an, die Vorinformation aufmerksam gelesen zu haben. Weiterhin ergibt sich ein signifikanter Effekt der Art der Vorinformation auf die Selbsteinschätzung der Schülerinnen und Schüler, wie aufmerksam sie die Vorinformation gelesen haben. Die Mittelwerte des aufmerksamen Lesens sinken von der strukturell-attributiven Vorinformation über die funktional-kybernetische Vorinformation bis zur pragmatischen Vorinformation. Geschätzt 81% der Varianz im aufmerksamen Lesen scheinen durch die Variation der Vorinformation geklärt zu werden.

Es stellt sich die Frage, wie sich die Variation des Instruktionsmaterials auf den Bearbeitungserfolg und den Wissenserwerb auswirkt. Zur Beantwortung dieser Frage sind tiefer gehende Analysen notwendig. Dabei sollten die Unterschiede in der Selbsteinschätzung des aufmerksamen Lesens beachtet werden.

#### 5. Literatur

- [1] Alexander, P. A., & Judy, J. E. (1988). The Interaction of Domain-Specific and Strategic

- Knowledge in Academic Performance. *Review of Educational Research*, 58(4), 375–404.
- [2] Ayres, P. (2006). Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems. *Learning and Instruction*, 16(5), 389–400.
- [3] Bamberger, R., & Rabin, A. T. (1984). New Approaches to Readability: Austrian Research. *The Reading Teacher*, 37(6), 512–519.
- [4] Baumert, J., & Köller, O. (2000). Unterrichtsgestaltung, verständnisvolles Lernen und multiple Zielerreichung im Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. In J. Baumert, W. Bos, & R. Lehmann (Eds.), *TIMSS/III: Bd. 2. Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe*. Opladen: Leske + Budrich.
- [5] Bratfisch, O., Borg, G., & Dornič, S. (1972). Perceived Item-Difficulty in Three Tests of Intellectual Performance Capacity. In *Reports from the Institute of Applied Psychology* (No. 29). Stockholm.
- [6] Brillouin, L. (1956). *Science and information theory*. Dover phoenix editions. Mineola, N.Y.: Dover Publications.
- [7] Brown, A. L., & DeLoache, J. S. (1978). Skills, plans, and self-regulation. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's Thinking: What Develops?*, 3–36. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [8] Brünken, R., Plass, J. L., & Leutner, D. (2003). Direct Measurement of Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 53–61.
- [9] de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning With Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179–201.
- [10] Duit, R., & Tesch, M. (2010). On the role of the experiment in science teaching and learning – Visions and the reality of instructional practice. In M. Kalogiannakis, D. Stavrou, & P. G. Michaelides (Eds.), *HSci 2010. 7th International Conference Hands-on Science "Bridging the Science and Society gap", July 25-31, 2010, Greece*. Rethymno: The University of Crete.
- [11] Ebeling, W., Freund, J., & Schweitzer, F. (1998). *Komplexe Strukturen: Entropie und Information*. Stuttgart: Teubner.
- [12] Flückiger, F. (1995). *Beiträge zur Entwicklung eines vereinheitlichten Informations-Begriffs* (Dissertation). Universität Bern, Bern.
- [13] Flückiger, F. (1997). Towards a unified concept of information: Presentation of a new approach. *World Futures: Journal of General Evolution*, 49(3-4), 309–320.
- [14] Gopher, D., & Braune, R. (1984). On the Psychophysics of Workload: Why Bother with Subjective Measures? *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 26(5), 519–532.

- [15] Harlen, W. (1999). *Effective teaching of science: A review of research. SCRE publication Using research series: Vol. 21*. Glasgow: Scottish Council for Research in Education.
- [16] Hmelo, C. E., Nagarajan, A., & Day, R. S. (2000). Effects of High and Low Prior Knowledge on Construction of a Joint Problem Space. *The Journal of Experimental Education*, 69(1), 36–56.
- [17] Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201–217.
- [18] Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54.
- [19] Hulshof, C. D., & Jong, T. de (2006). Using just-in-time information to support scientific discovery learning in a computer-based simulation. *Interactive Learning Environments*, 14(1), 79–94.
- [20] Kornwachs, K. (Ed.). (1996). *Information: New questions to a multidisciplinary concept* (1. ed). Berlin: Akad.-Verl.
- [21] Langer, I., Schulz von Thun, F., & Tausch, R. (2011). *Sich verständlich ausdrücken* (9., neu gest. Aufl). München: Reinhardt.
- [22] Lavoie, D. R., & Good, R. (1988). The nature and use of prediction skills in a biological computer simulation. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(5), 335–360.
- [23] Lazonder, A. W., Wilhelm, P., & van Lieburg, E. (2009). Unraveling the influence of domain knowledge during simulation-based inquiry learning. *Instructional Science*, 37(5), 437–451.
- [24] Leutner, D. (1993). Guided discovery learning with computer-based simulation games: Effects of adaptive and non-adaptive instructional support. *Learning and Instruction*, 3(2), 113–132.
- [25] MacKay, D. M. (1969). *Information, Mechanism and Meaning*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- [26] Marcus, N., Cooper, M., & Sweller, J. (1996). Understanding Instructions. *Journal of Educational Psychology*, 88(1), 49–63.
- [27] Morris, C. W. (1938). *Foundations of the Theory of Signs. International Encyclopedia of Unified Science*. Chicago: University of Chicago Press.
- [28] Nauta, D., Jr. (1973). Information - Measurement and Meaning. *Linguistics*, 11(97), 95–104.
- [29] Paas, F. G. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429–434.
- [30] Paas, F. G. W. C., & Van Merriënboer, J. J. G. (1993). The Efficiency of Instructional Conditions: An Approach to Combine Mental Effort and Performance Measures. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 35(4), 737–743.
- [31] Paas, F. G. W. C., & Van Merriënboer, J. J. G. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 122–133.
- [32] Paas, F. G. W. C., Van Merriënboer, J. J. G., & Adam, J. J. (1994). Measurement of Cognitive Load in Instructional Research. *Perceptual and Motor Skills*, 79(1), 419–430.
- [33] Schauble, L., Glaser, R., Raghavan, K., & Reiner, M. (1991). Causal models and experimentation strategies in scientific reasoning. *The Journal of the Learning Sciences*, 1(2), 201–238.
- [34] Seidel, T. Prenzel, M., Duit, R., Euler, M., Geiser, H., Hoffmann, L., Lehrke, M., Müller, C., Rimmel, R. (2002). "Jetzt bitte alle nach vorn schauen!" - Lehr-Lernskripts im Physikunterricht und damit verbundenen Bedingungen für individuelle Lernprozesse. *Unterrichtswissenschaft*, 30(1), 52–77.
- [35] Szilard, L. (1929). Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen. *Zeitschrift für Physik*, 53(11-12), 840-856.
- [36] Tesch, M., & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 51–69.
- [37] Thoms, L.-J., & Girwidz, R. (2015). Experimentieren aus der Ferne: optische Spektrometrie über das Internet. *PhyDid B – Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1–8.
- [38] van Gog, T., & Paas, F. (2008). Instructional Efficiency: Revisiting the Original Construct in Educational Research. *Educational Psychologist*, 43(1), 16–26.
- [39] Weizsäcker, C. F. von. (1971). *Die Einheit der Natur: Studien von Carl Friedrich von Weizsäcker*. München: Hanser.
- [40] Weizsäcker, E. U. von (Ed.). (2014). *Springer-Briefs on pioneers in science and practice: Vol. 28. Ernst Ulrich von Weizsäcker: A pioneer on environmental, climate and energy policies*. Cham: Springer.
- [41] Weizsäcker, E. von, & Weizsäcker, C. von. (1972). Wiederaufnahme der begrifflichen Frage: Was ist Information. *Nova Acta Leopoldina*, 37(206), 535–555.
- [42] Wiener, N. (1948). *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. Cambridge, Mass.: MIT Press